

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno – matematički fakultet  
Biološki odsjek

Sandra Hodić

**UTJECAJ HIDROMORFOLOŠKIH PROMJENA NA ZAJEDNICE  
MAKROZOOBENTOSA RIJEKE BEDNJE**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2017.

Ovaj rad, izrađen u Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno – matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom prof. dr. sc. Zlatka Mihaljevića, predan je na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno – matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra Znanosti o okolišu.

Zahvaljujem svom mentoru prof. dr. sc. Zlatku Mihaljeviću na stručnom vodstvu, pruženom znanju i potpori prilikom izrade ovog rada.

Puno hvala mag. educ. biol. Ivi Vidaković što me primila u svoj tim istraživača u sklopu izrade njenog doktorskog rada, davala vrijedne komentare i kritike te svojim savjetima usmjeravala tokom pisanja ovog rada.

Zahvaljujem svim djelatnicima Laboratorija za ekologiju životinja i svima onima koji su na bilo koji način pomogli pri izradi ovog rada i spremno odgovarali na moja pitanja.

Zahvaljujem svim mojim prijateljima i kolegama koji su mi uljepšali studiranje, pomagali korisnim savjetima i bodrili me tokom izrade ovog rada.

Hvala mojoj obitelji za svu podršku i poticanje tokom cijelog studija.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno – matematički fakultet

Biološki odsjek

Diplomski rad

### **UTJECAJ HIDROMORFOLOŠKIH PROMJENA NA ZAJEDNICE MAKROZOOBENTOSA RIJEKE BEDNJE**

Sandra Hodić

Rooseveltova trg 6, 10 000 Zagreb

Fizička degradacija rijeka putem antropogenih pritisaka odražava se na zajednice makrozoobentosa koje se koriste u ocjeni ekološkog stanja tekućica. Cilj ovog istraživanja bio je odrediti i usporediti sastav i strukturu zajednice makrozoobentosa rijeke Bednje na degradiranoj lokaciji 1 promijenjene hidromorfologije i prirodnoj (referentnoj) lokaciji 2. Jedan od ciljeva bio je i utvrditi i usporediti sastav funkcionalnih hranidbenih skupina između istraživanih lokacija. Istraživanje je provedeno uzorkovanjem makrozoobentosa, ocjenjivanjem hidromorfološkog stanja i mjerenjem fizikalno - kemijskih parametara vode na istraživanim lokacijama udaljenim 500 m. Mjerenja fizikalno - kemijskih parametara vode nisu pokazala značajne razlike između lokacija. Terenskom procjenom lokaciji 1 je pridružena ocjena 3 ili umjereno hidromorfološko stanje (težnja k ocjeni 4), a lokaciji 2 ocjena 2 ili dobro hidromorfološko stanje. Na degradiranoj lokaciji 1 brojnošću su prevladavale eurivalentne vrste iz skupina Diptera (Chironomidae), Oligochaeta i Amphipoda koje preferiraju finiji supstrat i fital. Veća raznolikost osjetljivih vrsta, naročito Ephemeroptera, Trichoptera i Coleoptera zabilježena je na valutičasto – šljunkovitim mikrostaništima lokacije 2. Najbrojnija funkcionalna hranidbena grupa bili su detritivori ili sakupljači, kojih je bilo nešto više na lokaciji 1. Sukladno raznolikosti mikrostaništa i raspoloživoj hrani na lokaciji 1 je bilo više procjeđivača i predatora, a na lokaciji 2 više usitnjivača i strugača.

(50 stranica, 9 slika, 11 tablica, 47 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: fizikalno - kemijska obilježja vode, degradacija staništa, sastav i struktura zajednice, mikrostaništa, funkcionalne hranidbene skupine

Voditelj: Prof. dr. sc. Zlatko Mihaljević

Ocjenitelji: Prof. dr. sc. Zlatko Mihaljević

Izv. prof. dr. sc. Danijel Orešić

Izv. prof. dr. sc. Alan Moro

Izv. prof. dr. sc. Sandra Radić Brkanac

Zamjena: Doc. dr. sc. Neven Bočić

Rad je prihvaćen: 16.02.2017.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Department of Biology

Graduation Thesis

### **THE EFFECT OF HYDROMORPHOLOGY DEGRADATION ON BENTHIC MACROINVERTEBRATES IN BEDNJA RIVER**

Sandra Hodić

Rooseveltova trg 6, 10 000 Zagreb

Physical degradation of rivers through anthropogenic pressures reflects on the benthic macroinvertebrates that are used in ecological assessment of rivers. The aim of this study was to determine and compare the composition and structure of macroinvertebrates in Bednja river in degraded site 1 with changed hydromorphology and in natural (referent) site 2. One of the aims was to determine and compare the composition of functional feeding groups between the studied locations. The study was conducted by sampling macroinvertebrates, assessing the hydromorphological condition and measuring the physico - chemical parameters in the studied locations distant 500 m. The measurements of physico - chemical parameters showed no marked differences between locations. Field evaluation of site 1 is associated with grade 3 or moderate hydromorphological state (tendency to grade 4), and the site 2 with grade 2 or good hydromorphological status. On degraded site 1 abundance prevailing eurivalent species of group Diptera (Chironomidae), Oligochaeta and Amphipoda preferred finer substrate and phytal. Increased biodiversity of sensitive species, especially Ephemeroptera, Trichoptera and Coleoptera was recorded at the site 2 with pebble - gravel microhabitats. The most abundant functional feeding groups were collectors, which were more abundant at site 1. In accordance with the diversity of microhabitats and food availability, more filterers and predators were found on site 1 and the site 2 had more shredders and scrapers.

(50 pages, 9 figures, 11 tables, 47 references, original in: Croatian)

Thesis deposited in the Central biological library.

Key words: physico-chemical parameters, habitat degradation, community composition and structure, microhabitats, functional feeding guilds

Supervisor: Prof. Dr. Zlatko Mihaljević

Reviewers: Prof. Dr. Zlatko Mihaljević  
Assoc. Prof. Dr. Danijel Orešić  
Assoc. Prof. Dr. Alan Moro  
Assoc. Prof. Dr. Sandra Radić Brkanac

Replacement: Asst. Prof. Dr. Neven Bočić

Thesis accepted: 16th February 2017

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Slatkovodni ekosustavi i antropogeni pritisci .....	1
1.2. Povijest razvoja ocjene kakvoće voda tekućica.....	1
1.3. Hidromorfologija u ocjeni ekološkog stanja .....	2
1.4. Makrozoobentos kao biološki element procjene ekološkog stanja .....	5
1.5. Trofička struktura zajednice makrozoobentosa u longitudinalnom profilu rijeke .....	6
1.6. Ciljevi istraživanja .....	8
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA.....	9
2.1. Opis područja istraživanja .....	9
2.3. Klima i padaline na području sliva rijeke Bednje.....	10
2.4. Opis istraživanih lokacija .....	11
3. MATERIJALI I METODE.....	13
3.1. Mjerenje fizikalno-kemijskih parametara .....	13
3.2. Provedba ocjene hidromorfološkog stanja .....	14
3.3. Metodologija uzorkovanja makrozoobentosa .....	16
3.3.1. Pribor za uzorkovanje makrozoobentosa.....	16
3.3.2. Protokol za uzorkovanje makrozoobentosa .....	17
3.3.3. Metoda uzorkovanja makrozoobentosa .....	19
3.4. Analiza podataka .....	20
4. REZULTATI .....	21
4.1. Fizikalno-kemijski parametri vode .....	21
4.2. Ocjena hidromorfološkog stanja istraživanih lokacija.....	23
4.2.1. Lokacija 1 Cvetlin degradirano .....	23
4.2.2. Lokacija 2 Cvetlin prirodno .....	24
4.3. Sastav i brojnost zajednice makrozoobentosa na istraživanim lokacijama.....	26
4.3.1. Sastav i gustoća zajednice makrozoobentosa na lokaciji 1 Cvetlin degradirano ...	31
4.3.2. Sastav i gustoća zajednice makrozoobentosa na lokaciji 2 Cvetlin prirodno .....	33
4.3.3. Usporedba sastava i brojnosti makrozoobentosa između istraživanih lokacija .....	35
4.4. Udio funkcionalnih hranidbenih grupa makrozoobentosa istraživanih lokacija .....	37
5. RASPRAVA .....	38
5.1. Razlike u fizikalno-kemijskim obilježjima vode na istraživanim lokacijama .....	38
5.2. Ocjena hidromorfološkog stanja istraživanih lokacija.....	38
5.3. Usporedba sastava i strukture makrozoobentosa istraživanih lokacija .....	41
5.4. Trofička struktura zajednice makrozoobentosa na istraživanim lokacijama .....	44
6. ZAKLJUČAK .....	45
7. LITERATURA .....	46
ŽIVOTOPIS.....	51

## **1. UVOD**

### **1.1. Slatkovodni ekosustavi i antropogeni pritisci**

Slatkovodni ekosustavi poput površinskih voda se kontinuirano i neprekidno iskorištavaju i direktno su ugroženi mnogostrukim antropogenim pritiscima. Diljem svijeta površinske vode se pokušavaju zaštititi i obnoviti kako bi se smanjio gubitak cjelokupne bioraznolikosti nastao uslijed ljudskih aktivnosti i zadržale sve usluge koje takvi slatkovodni ekosustavi pružaju čovjeku (Verdonschot 2009, Herring i sur. 2015). Kanaliziranje rijeka, utvrđivanje obala, skraćivanje duljine korita, gradnja brana, prekid doticaja rijeke s poplavnom ravnicom, intenzivno korištenje okolnog zemljišta, promjene obalne strukture i vegetacije te mnogi drugi zahvati, dovode do smanjenja pogodnih tipova staništa, raznolikosti staništa i prekida migracijskih putova za organizme (Lorenz i sur. 2004).

Upravo fizička degradacija staništa odnosno narušavanje hidromorfoloških karakteristika tekućica danas predstavlja jednu od najznačajnijih antropogenih prijetnji za bioraznolikost tekućica (Lorenz i sur. 2004). Poznato je da raznolikost staništa podržava biološke zajednice i time povećava bioraznolikost, no tek se u posljednje vrijeme povećava broj istraživanja koja se bave vezom između fizičke degradacije staništa i utjecaja na vodene organizme (Burgos i sur. 2015). Hidromorfološka obilježja nekog vodnog tijela pružaju osnovu za razvoj zajednica vodenih makrofita, bentičkih beskralješnjaka i riba, a svaka promjena tih obilježja ima značajne negativne posljedice na okoliš. Procjena hidromorfološkog stanja stoga omogućuje prepoznavanje antropogenih utjecaja i fizičkih zahvata na vodnom tijelu te daljnju provedbu pravilnog upravljanja i zaštite vodnog tijela.

### **1.2. Povijest razvoja ocjene kakvoće voda tekućica**

Istraživanja koja povezuju ekologiju tekućica s njenom hidromorfologijom u povijesti su rijetko kad bila prioritet prilikom ocjene stanja slatkovodnih ekosustava (Vaughan i Ormerod 2010). Glavna karakteristika na kojoj se temeljila ocjena stanja slatkovodnih ekosustava tijekom prošlog stoljeća je bila kakvoća vode (Vaughan i Ormerod 2010). Ocjena kakvoće vode tekućica trebala bi se sastojati od procjene fizikalnih, kemijskih i bioloških karakteristika za pravilno upravljanje vodama (Metcalf 1989). Biološki elementi se koriste kao najznačajniji pokazatelji budući da organizmi pokazuju odgovor i prilagodbe na stanje okoliša tijekom dužeg vremena dok mjerenja kemijskih i fizikalnih karakteristika pokazuju samo trenutačno stanje okoliša (Metcalf 1989). Osim toga, ocjena kakvoće površinskih voda

u povijesti se bazirala isključivo na upotrebi vodenih organizama kao indikatora organskog onečišćenja i općenito kemijskog onečišćenja voda (Metcalf 1989). Kasnije su se zbog ljudskih pritisaka na riječne sustave i zahtjevima legislative biološki elementi počeli uzimati u obzir i kao indikatori hidromorfoloških pritisaka čime je došlo do potrebe uključivanja hidromorfoloških karakteristika u sveukupnu ocjenu ekološkog stanja tekućica (Lorenz i sur. 2004). Prema recentnijem izvješću Europske agencije za okoliš iz 2012.-te godine čak 48,2% ocijenjenih vodnih tijela zemalja članica Europske unije je pod utjecajem hidromorfoloških pritisaka, a ujedno i 42.7% vodnih tijela ima promijenjena fizička staništa (EEA Water 2012 Report).

### **1.3. Hidromorfologija u ocjeni ekološkog stanja**

Okvirna direktiva o vodama (ODV) Europskog parlamenta i Vijeća je dokument kojim se 2000.-te godine uspostavio okvir za zaštitu, upravljanje i poboljšanje kakvoće kopnenih površinskih voda, prijelaznih voda, priobalnih voda i podzemnih voda (Burgos i sur. 2015, European Commission 2000). Okvirna direktiva o vodama je od svih država članica Europske unije zahtijevala postizanje cilja dobrog stanja voda do 2015.-te godine (European Commission 2000). Ekološko stanje voda se prema Direktivi definira na temelju monitoringa bioloških elemenata kakvoće, osnovnih fizikalno - kemijskih elemenata kakvoće i hidromorfoloških elemenata kakvoće čime se prvi put uvodi obavezna ocjena hidromorfoloških pokazatelja u ocjeni ekološkog stanja voda (Boon i sur. 2010, European Commission 2000).

ODV je time proširila procjenu vodenih ekosustava, te zadala temelje za razvoj metodologija koje u ocjenu uključuju šire slivno područje, a ne samo biološke, kemijske i fizikalno - kemijske elemente koji se sagledavaju na prostornom nivou vodotoka (Boon i sur. 2010). Time se stvorio doprinos za bolju identifikaciju hidromorfoloških pritisaka koji mogu uzrokovati loše ekološko stanje vodotoka te potreba za daljnjim istraživanjima u svrhu boljeg razumijevanja veza između ekologije i hidromorfologije.

Ubrzo nakon prihvaćanja ODV bilo je potrebno provesti standardizaciju za procjenu hidromorfoloških promjena na tekućicama. Europski odbor za standardizaciju (eng. CEN) je definirao sve hidrološke karakteristike i fizičke strukture koje su rezultat hidromorfologije. Glavni dokument standarda je popis glavnih i dopunskih hidromorfoloških pokazatelja koji ulaze u metodologiju za izradu ocjene hidromorfološkog stanja, uz prikaz predloženog planiranja i provođenja terenskog istraživanja, te načina tumačenja i predstavljanja rezultata (Boon i sur. 2010). Hidromorfološki pokazatelji koji se prema tom standardu danas ocjenjuju



su hidrološke karakteristike vodotoka, uzdužna kontinuiranost vodotoka i morfologija vodotoka (Boon i sur. 2010, Bruno i sur. 2014).

### Hidromorfološki elementi

Hidromorfološki elementi koji ulaze u ocjenu podijeljeni su u 16 obilježja (Tablica 1), a uključuju sljedeće elemente: količina i dinamika vodenog toka, veza s podzemnim vodama, uzdužni kontinuitet tekućice, varijacije u širini i dubini tekućice, struktura i podloga korita te struktura obalnog pojasa. Hidromorfološki elementi su podijeljeni na glavne i dopunske, a ovisno o dostupnosti podataka mogu se promatrati samo određeni elementi, najčešće glavni. Prirodna i umjetna hidromorfološka obilježja se bilježe na temelju prisutnosti, bez detaljnog opisivanja.

Tablica 1. Opis i podjela hidromorfoloških pokazatelja koji ulaze u ocjenu ([http://www.voda.hr/sites/default/files/metodologija\\_monitoringa\\_i\\_ocjenjivanja\\_hidromorfoloskih\\_pokazatelja\\_8.04.2016\\_i\\_odluka.pdf](http://www.voda.hr/sites/default/files/metodologija_monitoringa_i_ocjenjivanja_hidromorfoloskih_pokazatelja_8.04.2016_i_odluka.pdf)).

Element ocjene/pokazatelj		
<b>HIDROLOGIJA</b>		1. Učinci umjetnih građevina u koritu unutar dionice
		2. Učinci promjena širom sliva na karakter prirodnog toka
		3. Učinci promjene u dnevnom protoku
<b>UZDUŽNA POVEZANOST</b>		4. Uzdužna povezanost pod utjecajem umjetnih građevina
<b>MORFOLOGIJA</b>	Geometrija korita	5. Tlocrtni oblik
		6. Presjek korita
	Podloge	7. Količina umjetnih tvrdih materijala
		8. Mješavina „prirodnih“ podloga ili izmijenjena značajka
	Vegetacija i organski ostaci u koritu	9. Uklanjanje vodene vegetacije
		10. Količina drvenih ostataka, ako se isti očekuju
		11. Karakter erozije/taloženja
		12. Struktura obale i promjene na obali
		13. Vrsta/struktura vegetacije na obalama i na okolnom zemljištu
		14. Korištenje zemljišta i s time povezana obilježja
	Interakcija između korita i poplavnog područja	15. Stupanj lateralne povezanosti rijeke i poplavnog područja
		16. Stupanj lateralnog kretanja riječnog korita

Hidromorfološke promjene stoga vrše pritisak na ekosustave na više prostornih razina djelujući na slivno područje vodotoka, na sam vodotok te na manje dionice vodotoka, a ujedno i na staništa unutar vodotoka u kojima žive vodeni organizmi. Hidromorfološke promjene na razini pojedinog vodotoka direktno se odražavaju na vodene zajednice budući da mijenjaju strukturu podloge unutar vodotoka u kojem te zajednice obitavaju (Jähnig i sur. 2009).

### **Bodovanje i ocjena hidromorfološkog stanja**

Hidromorfološko stanje ocjenjuje se sukladno normi EN 15843:2010, što je propisano u dokumentu Metodologija monitoringa i ocjenjivanja hidromorfoloških pokazatelja, sukladno Uredbi o standardu kakvoće voda ([http://www.voda.hr/sites/default/files/metodologija\\_monitoringa\\_i\\_ocjenjivanja\\_hidromorfoloskih\\_pokazatelja\\_8.04.2016\\_i\\_odluka.pdf](http://www.voda.hr/sites/default/files/metodologija_monitoringa_i_ocjenjivanja_hidromorfoloskih_pokazatelja_8.04.2016_i_odluka.pdf)).

Svakom obilježju dodijelila se ocjena od 1 do 5, gdje ocjena 1 predstavlja prirodno do neznatno izmijenjeno stanje, a ocjena 5 znatno izmijenjeno hidromorfološko stanje. Pojedino obilježje moglo se bodovati na temelju kvantitativnih podataka (ocjene 1,2,3,4,5), te na temelju kvalitativnih podataka (ocjene 1,3,5) (Tablica 2). U ovom istraživanju odabrano je bodovanje na temelju kvantitativnih podataka zbog veće preciznosti petostupanjske ljestvice. Ukupna ocjena hidromorfološkog stanja vodnog tijela dobila se izračunom prosjeka dodijeljenih ocjena za svih 16 obilježja. Tim bodovanjem istraživani odsječci su svrstani u određenu klasu ekološkog stanja kojima su pridružene određene boje kod prikazivanja na karti.

Tablica 2. Klasifikacija ocjena za hidromorfološku promjenu u pet kategorija.

Kategorija ekološkog stanja i boja na karti	Ocjena	Klasa	Opis
Vrlo dobro	1,0 - 1,4	1	Prirodno
Dobro	1,5 – 2,4	2	Neznatno izmijenjeno
Umjereno	2,5 – 3,4	3	Umjereno izmijenjeno
Loše	3,5 – 4,4	4	Značajno izmijenjeno
Vrlo loše	4,5 – 5,0	5	Znatno izmijenjeno

#### **1.4. Makrozoobentos kao biološki element procjene ekološkog stanja**

Stupanj osjetljivosti poznatih vrsta i njihovo prisustvo ili odsustvo mogu nam dati informaciju o stanju određenog riječnog sustava (Gilmore 2002). Ocjena kakvoće površinskih voda trebala bi se temeljiti na istraživanju reakcija i prilagodbi svih vodenih organizama na postojeće stresore unutar vodotoka (Metcalf 1989). Razvojem metoda za ocjenu kakvoće vode tokom povijesti, fokus se prebacio na organizme kao što su perifiton, plankton, makrozoobentos ili ribe koji najbolje odražavaju promjene u slatkovodnom ekosustavu (Metcalf 1989). Kroz posljednjih nekoliko desetljeća makrozoobentos se najčešće koristi kao biološki element kakvoće prilikom procjene ekološkog stanja slatkovodnih ekosustava za procjenu antropogenih utjecaja na kakvoću površinskih voda (Metcalf 1989, Hussain i Pandit 2012).

Makrozoobentos je naziv za vodene beskralješnjake koji ne prolaze kroz mrežu veličine okašca 100 do 500  $\mu\text{m}$  i naseljavaju dno slatkovodnih ekosustava (Metcalf 1989, AQEM consortium 2002). Makrozoobentos čini mnoštvo različitih skupina vodenih organizama koje možemo pronaći u velikom broju različitih staništa, ograničeno su pokretljivi jer prilikom promjene kvalitete staništa ostaju unutar vodotoka i lako se uzorkuju već dobro poznatim utvrđenim tehnikama uzorkovanja. Najvažnije je to što taj velik broj različitih skupina organizama pokazuje različitu osjetljivost i toleranciju te razvija određene prilagodbe na promjene u kvaliteti vode i staništa u kojem žive (Metcalf 1989).

Mnogi okolišni faktori reguliraju prisustvo ili odsustvo zajednice makrozoobentosa, krenuvši od navedene hidrologije i geomorfologije vodotoka, pokrovnosti i korištenja zemljišta, vegetacije, zasjenjenosti vodotoka, izvora hrane, fizikalno – kemijskih parametara, interakcija između organizama, i mnogih drugih (Giller i Malmqvist 1998, Moog 2002, Hussain i Pandit 2012).

Životni ciklusi makrozoobentosa ovise ponajprije o fizičkom staništu u kojem žive. Fizičko stanište makrozoobentosa u rijekama čini organski i mineralni supstrat dna (Hussain i Pandit 2012). Sastav i veličina čestica supstrata ima važan utjecaj na broj, gustoću i raznolikost vrsta koje naseljavaju pojedine tipove supstrata, odnosno mikrostaništa (Jähnig i sur. 2009, Hussain i Pandit 2012) i zbog toga je važno istražiti utjecaj fizičke degradacije na njihovu zajednicu.

### 1.5. Trofička struktura zajednice makrozoobentosa u longitudinalnom profilu rijeke

Glavni izvor hrane za organizme u vodotocima su autohtone tvari koje nastaju fotosintetskim aktivnostima primarnih producenata unutar vodotoka i alohtone tvari iz unosa listinca iz obalne vegetacije. Odnos autohtonih i alohtonih tvari u vodotoku se mijenja kako pratimo longitudinalnost rijeke od izvora prema ušću (Moog 2002). Vodene zajednice i ekološki procesi predvidljivo se mijenjaju nizvodno od izvora prema većem redu tekućice kroz povećanje dimenzija korita i količine vodene vegetacije koja zasjenjuje tekućicu (Vannote i sur. 1980). Vannote i suradnici su tu dinamiku opisali u svom konceptu riječnog kontinuuma. Koncept polazi od teze da je gornji tok tekućice izuzetno povezan s okolnom vegetacijom jer predstavlja izvor alohtone organske tvari kao hranu za organizme zbog čega je u gornjim dijelovima toka povećana njihova raznolikost. Osim toga, vegetacija zasjenjuje vodotok i ograničava razvoj vodene vegetacije odnosno produkciju autohtonih tvari. Udaljavanjem od izvora korito rijeke se širi, smanjuje se utjecaj vegetacije, a povećava se fotosintetska aktivnost primarnih producenata, odnosno razvoj algi i vodene vegetacije.

Makrozoobentos je prema načinu hranjenja podijeljen u više funkcionalnih skupina što je ujedno i povezano s veličinom organskih čestica koje nastanu njihovim hranjenjem (Vannote i sur. 1980). Skupine makrozoobentosa razvrstane su s obzirom na izvor hrane i način hranjenja u deset osnovnih funkcionalnih hranidbenih skupina (Moog 2002):

1. usitnjivači (SHR eng. *shredders*) – hrane se krupnim česticama detritusa (CPOM), usitnjavaju listinac i biljna tkiva;
2. strugači (GRA eng. *grazers*) – hrane se obraštajem (alge) i usitnjenom organskom tvari u obraštaju;
3. aktivni procjeđivači (AFIL eng. *active filterers*) – procjeđuju suspendirane čestice usitnjene organske tvari iz struje vode koju sami aktivno stvaraju;
4. pasivni procjeđivači (PFIL eng. *passive filterers*) - procjeđuju organske čestice iz struje vode;
5. detritivori ili sakupljači (DET eng. *detritivores*) – hrane se česticama usitnjene organske tvari (FPOM) koje se talože na dnu;
6. bušači (MIN eng. *miners*) – buše kroz tkiva biljaka i algi nakon čega se hrane njihovim tkivom;
7. ksilofagi (XYL eng. *xylophagous*) – hrane se drvenim ostacima;
8. grabežljivci (PRE eng. *predators*) - hrane se drugim bentičkim beskralješnjacima:

9. nametnici (PAR eng. *parasites*) – parazitiraju na domaćinu;

10. ostali (OTH eng. *others*).

Makrozoobentos usitnjava listinac u gornjim dijelovima toka tekućica na krupne organske čestice (engl. coarse particulate organic matter, CPOM, > 1 mm) kojima se i hrane, čime taj način hranjenja postaje važan mehanizam za pretvorbu krupnih u sitne organske čestice (eng. fine particulate organic matter, FPOM, 50 µm - 1 mm) kojima se dalje hrane drugi organizmi (Vannote i sur. 1980). Relativna brojnost funkcionalnih hranidbenih skupina organizama prati spomenutu dinamiku promjene izvora hrane od izvora prema ušću. Prema tome u gornjim tokovima ima više usitnjivača (eng. *shredders*) koji razgrađuju listinac i detritivora ili sakupljača (eng. *detritivores*) koji se hrane usitnjenim česticama. Prema donjim širim dijelovima rijeke s manje zasjenjenosti dolazi do razvoja vodene vegetacije te algi i obraštaja zbog čega sve više prevladavaju strugači (eng. *grazers*), detritivori ili sakupljači (eng. *detritivores*) te filtratori (eng. *passive filterers*, *active filterers*) (Vannote i sur. 1980). Kada spomenuta struktura funkcionalnih hranidbenih skupina odudara od očekivanih referentnih uvjeta, što zbog promjena u omjeru grupa ili položaja promatranih organizama u vodotoku s obzirom na red veličine tekućice, može se zaključiti da je došlo do određenih promjena u okolišu.

## 1.6. Ciljevi istraživanja

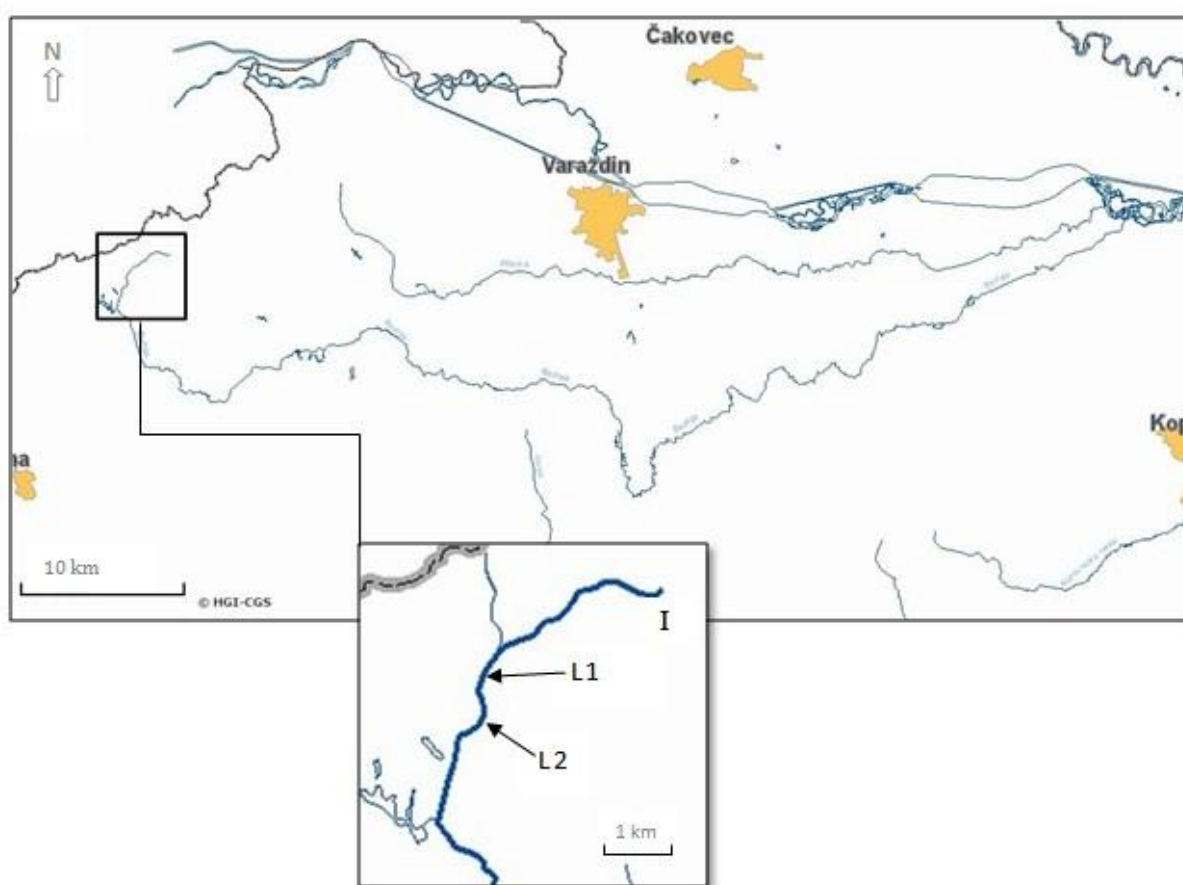
Budući da za rijeku Bednju nema ranijih podataka o provedenim istraživanjima zajednice makrozoobentosa, niti provedenog istraživanja degradacije staništa putem hidromorfoloških promjena ciljevi ovog rada su:

- Analizirati vrijednosti osnovnih fizikalno – kemijskih pokazatelja te koncentraciju hranjivih tvari i prisutnih organskih tvari u vodi tijekom istraživanog razdoblja
- Ocijeniti hidromorfološko stanje istraživanih lokacija i svrstati ih u određenu kategoriju hidromorfološkog stanja
- Odrediti sastav zajednice makrozoobentosa istraživanih lokacija
- Utvrditi sastav funkcionalnih hranidbenih skupina makrozoobentosa
- Utvrditi razlike u brojnosti i sastavu utvrđenih skupina makrozoobentosa između istraživanih lokacija
- Analizirati dobivene razlike u brojnosti, raznolikosti svojti i hranidbenim skupinama zajednica makrozoobentosa s hidromorfološkim čimbenicima koji oblikuju i definiraju stanišne uvjete

## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Opis područja istraživanja

Istraživanje makrozoobentosa i ocjenjivanje hidromorfološkog stanja provedeno je na dvije lokacije gornjeg toka rijeke Bednje (Slika 1). Rijeka Bednja je nizinska srednje velika tekućica (Mihaljević i sur. 2011), čiji se tok u potpunosti nalazu unutar sjeverozapadnog teritorija Republike Hrvatske. Tok rijeke Bednje pruža se od izvora na zapadu prema ušću u rijeku Dravu na istoku te najvećim dijelom prolazi kroz Varaždinsku i dijelove Krapinsko - zagorske i Kopriivničko - križevačke županije.



Slika 1. Položaj rijeke Bednje i područja istraživanja (<http://webgis.hgi-cgs.hr/gk300/>). Oznake: L1 – lokacija 1 Cvetlin degradirano, L2 – lokacija 2 Cvetlin prirodno, I – izvor rijeke Bednje.

## **2.2. Hidrološka, geološka i geomorfološka obilježja sliva rijeke Bednje**

Rijeka Bednja izvire podno sjevernih padina Ravne gore. Izvor se nalazi u blizini sela Bednjica na visini od oko 300 m, što nije točno utvrđeno jer postoje i drugi prijedlozi mjesta nastanka i nadmorske visine izvora poput tri varijante koje predlaže Počakal (1982). Ušće rijeke Bednje u Dravu nalazi se nizvodno od sela Mali Bukovec na nadmorskoj visini od 136 m (Počakal 1982). Duljina rijeke Bednje iznosi 133 km s površinom sliva od 966 km<sup>2</sup> (Statistički ljetopis 2015). Rijeka Bednja ima peripanonski kišno – snježni režim koji ima po dva maksimuma i dva minimuma tijekom godine (Čanjevac 2015). Prvi maksimum javlja se tijekom ožujka ili travnja, a drugi tijekom prosinca. Dva minimuma javljaju se tijekom kolovoza i veljače. Ekstremnije vrijednosti protoka se u godini javljaju od studenog do travnja.

Područje sliva rijeke Bednje može se podijeliti na aluvijalne ravni ili nizinsko područje, tercijarna prigorja ili brdsko područje i paleozojske gore ili planinsko područje (Počakal 1982). Sliv rijeke Bednje nalazi se u prostoru u kojem se izmjenjuju dominantni brežuljkasti predjeli do visine 400 m građeni od različitih tipova vapnenaca i dolomita koji zauzimaju najveću površinu sliva. Između njih se šire nizinske aluvijalne ravnice građene od nevezanih klastičnih sedimenata na visinama do oko 200 m (Počakal 1982). Planinska područja obuhvaćaju dijelove Ivanšćice (najviši vrh od 1061 m), područje Ravne gore gdje Bednja izvire i zaobilazi ju oko zapadne strane te Kalničko gorje.

## **2.3. Klima i padaline na području sliva rijeke Bednje**

Klima Hrvatske određena je položajem u sjevernom umjerenom pojasu. Prema Köppenovoj podjeli klima u Hrvatskoj (Šegota i Filipčić 1996) područje sliva rijeke Bednje ima umjereno toplu vlažnu klimu s toplim ljetom (tip Cfbwx). Ovaj tip klime predstavljaju topla ljeta gdje srednja temperatura zraka najtoplijeg mjeseca ne prelazi 22 °C. Temperatura najhladnijeg mjeseca se kreće između 3 °C i 18 °C, a više od četiri mjeseca u godini imaju srednju temperaturu višu od 10 °C. Karakteristika takve klime je da nema izrazito sušnog razdoblja.

Slivno područje rijeke Bednje ima kontinentski pluviometrijski režim padalina (Šegota i Filipčić 1996). Maksimum količine padalina na promatranom području pojavljuje se u toplom dijelu godine sa sekundarnim maksimumom u kasnu jesen. Minimum padalina javlja se krajem zime i početkom proljeća.



## 2.4. Opis istraživanih lokacija

Za ovo istraživanje na rijeci Bednji su izabrane dvije lokacije (Tablica 3), lokacija 2 Cvetlin prirodno koja je bliska prirodnom ili (referentnom) stanju vodotoka te lokacija 2 Cvetlin degradirano koja predstavlja odsječak vodotoka s promijenjenom hidromorfologijom.

Tablica 3. Položaj odabranih lokacija istraživanja.

Lokacija	Najbliže naselje	Općina	Koordinate
1	Cvetlin	Bednja	15°57'34,893"E 46°16'27,089"N
2	Cvetlin	Bednja	15°57'30,751"E 46°16'15,801"N

Lokacija 1 Cvetlin degradirano (Slika 2) je kanalizirana dionica vodotoka koja prolazi kroz poljoprivredno područje i livade. Godišnje se vrše radovi na uređenju i održavanju vodotoka (Službeni vjesnik Varaždinske županije 2002) u obliku potpunog odstranjivanja priobalne i obalne vegetacije u duljini od 66 km što čini dvije trećine duljine rijeke Bednje, u što spada i promatrana dionica lokacije 1. Osim toga, u nekoliko posljednjih desetljeća na obje lokacije provedena je regulacija u vidu produbljivanja kanala rijeke te su posječene nizinske šume uz rijeku zbog prenamjene u poljoprivredna zemljišta. To je ujedno dovelo i do prekomjernog tretiranja umjetnim gnojivima i zaštitnim sredstvima.

Lokacija 2 Cvetlin prirodno (Slika 3) se nalazi 500 m nizvodno od prethodne dionice. Ova je lokacija na prvi pogled morfološki i po stanišnim prilikama potpuno drugačija, odnosno prirodnija, te je odabrana u svrhu usporedbe s degradiranom lokacijom 1.



Slika 2. Lokacija 1 Cvetlin degradirano (Foto: I. Vidaković).



Slika 3. Lokacija 1 Cvetlin prirodno (Foto: I. Vidaković).

### **3. MATERIJALI I METODE**

Terenski dio istraživanja uključivao je uzorkovanje makrozoobentosa, mjerenje fizikalno - kemijskih parametara i procjenu hidromorfološkog stanja istraživanog odsječka na dvije postaje u gornjem toku rijeke Bednje. Prikupljanje makrozoobentosa provedeno je 30. lipnja 2015. godine, dok su fizikalno - kemijski parametri mjereni u tri navrata tijekom iste godine. Svi podaci zapisani su na pojedinačnim terenskim protokolima za svaki dio istraživanja. Laboratorijski dio istraživanja uključivao je izolaciju makrozoobentosa i daljnju determinaciju do najnižih sistematskih kategorija. Rezultat uzorkovanja i laboratorijske obrade bioloških uzoraka je popis svojti za svako uzorkovanje.

#### **3.1. Mjerenje fizikalno-kemijskih parametara**

Prije uzorkovanja makrozoobentosa ljeti, uz dodatna dva mjerenja početkom proljeća i u jesen, na terenu su pomoću odgovarajućih sondi mjereni osnovni fizikalno - kemijski parametri vode na objema lokacijama pomoći sondi tvrtke WTW. Temperatura (°C), zasićenje vode kisikom (%) i količina otopljenog kisika (mg/L) mjereni su oksimetrom WTW OXI 96, električna vodljivost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) mjerena je konduktometrom WTW LF 330, a pH-vrijednost vode mjerena pH-metrom WTW pH 330. Uz osnovne, mjereni su i dodatni kemijski parametri koji ukazuju na prisutnost organske tvari (biološka potrošnja kisika -  $\text{BPK}_5$ , utrošak  $\text{KMnO}_4$ ) i koncentracije hranjivih tvari u vodi (amonijak, nitriti, nitrati, ukupni dušik, ortofosfati, ukupni fosfor). Kemijsku analizu vode radila je tehničarka Svjetlana Vidović prema standardnim metodama (APHA 1995) u kemijskom laboratoriju Zoologijskog zavoda, na Biološkom odsjeku PMF-a. Zbog blizine dviju postaja (približno 500 m) uzorci vode za kemijsku analizu uzeti su na lokaciji 1 Cvetlin degradirano.

### **3.2. Provedba ocjene hidromorfološkog stanja**

Prethodnim prikupljanjem podataka o području istraživanja (korito, obalni pojas i poplavno područje) izabrane su dvije lokacije tekućice s razlikama u pokazateljima hidromorfoloških promjena, sukladno ciljevima cjelokupnog istraživanja. Procjena izmjene hidromorfoloških pokazatelja provedena je odlascima na teren tijekom ljeta kad je uzorkovan i makrozoobentos i kada je bilo moguće evidentirati vrstu ili strukturu vegetacije u koritu, obalnom pojasu i poplavnom području tekućice, a sve za vrijeme manjeg protoka, kad je bilo moguće vidjeti sva obilježja korita i podloge. U svrhu bilježenja mogućih dodatnih hidromorfoloških promjena obje lokacije su se dodatno obilazile tijekom proljeća i jeseni. Prethodno istraživanje povijesnih i topografskih karata te karata upotrebe zemljišta i vegetacijskog pokrova olakšalo je procjenu hidromorfoloških elemenata na samom terenu.

Terensko prikupljanje podataka provedeno je na obje strane korita hodanjem uz vodotok i gaženjem kroz njega gdje je to bilo moguće. Unutar granica istraživanog područja obuhvatila su se sva prisutna obilježja poplavnog područja tekućice. Granice procjene obuhvaćale su standardnih 50 m s obje strane korita za poplavno područje te 20 m od obje strane korita za prikupljanje podataka o obalnoj vegetaciji. Dužina odsječka na lokacijama za ovo istraživanje iznosila je 200 m, što je određeno prema veličini tekućice i širini korita.

#### **Bodovanje**

Sukladno Metodologiji monitoringa i ocjenjivanja hidromorfoloških pokazatelja ([http://www.voda.hr/sites/default/files/metodologija\\_monitoringa\\_i\\_ocjenjivanja\\_hidromorfoloskih\\_pokazatelja\\_8.04.2016\\_i\\_odluka.pdf](http://www.voda.hr/sites/default/files/metodologija_monitoringa_i_ocjenjivanja_hidromorfoloskih_pokazatelja_8.04.2016_i_odluka.pdf)) ocjenjuju se hidromorfološke promjene nastale uslijed fizičkih zahvata (antropogeni utjecaj) odnosno razina odstupanja od referentnog stanja za 16 hidromorfoloških pokazatelja (navedenih u Tablici 1).

Ukupno hidromorfološko stanje određuje se izračunom prosjeka dobivenih rezultata za svih 16 pokazatelja. Kod prikazivanja rezultata, 16 hidromorfoloških obilježja moguće je grupirati u tri glavne hidromorfološke kategorije (morfologija, hidrologija i uzdužna povezanost) te dati prosjek za svaku kategoriju. Dobivenim rezultatima se zatim dodjeljuje boja prema klasama (Tablica 2).

## **Oprema za terensko istraživanje**

- terenski protokol
- pribor za pisanje
- fotoapararat
- GPS uređaj
- gumene čizme (ribarske, visoke, sa ili bez naramenica)
- zaštitna terenska oprema (kabanica, jakna, kapa ili šešir, terenske cipele, zaštitna krema protiv UV zračenja)
- topografske karte u različitim mjerilima

### 3.3. Metodologija uzorkovanja makrozoobentosa

#### 3.3.1. Pribor za uzorkovanje makrozoobentosa

Prilikom uzorkovanja kao glavni pribor koristila se ručna bentos mreža promjera okašca 500  $\mu\text{m}$  sa dimenzijama okvira 25 x 25 cm (0,0625 m<sup>2</sup>) (Slika 4). Mreža za hvatanje organizama je vrećastog ili stožastog oblika duljine minimalno 50 cm. Zbog dugačkog držala može se koristiti i pri većim dubinama tekućice.



Slika 4. Ručna bentos mreža (preuzeto iz Mihaljević i sur. 2011).

#### Oprema za terenski dio istraživanja:

- ručna bentos mreža (promjer okašca 500  $\mu\text{m}$ )
- manja ručna mreža (promjer okašca 500  $\mu\text{m}$ )
- gumene čizme i rukavice
- plastične kante od 10 L
- bijele fotografske kadice
- plastične boce sa širokim grlom (do 500 ml)
- pinceta
- 96%-tni alkohol
- terenski protokol
- vodootporni marker
- olovka
- metar

### 3.3.2. Protokol za uzorkovanje makrozoobentosa

Terensko uzorkovanje makrozoobentosa provedeno je na temelju AQEM protokola (AQEM consortium 2002) koji podrazumijeva uzorkovanje svih dostupnih mikrostaništa razmjerno njihovoj zastupljenosti na mjestu uzorkovanja. Neposredno prije uzorkovanja procijenjen je postotni udio pojedinog mikrostaništa obzirom na zastupljenost te je zapisan u terenski obrazac. Uzorkovana mikrostaništa (Tablica 4) su kombinacija organskog i mineralnog supstrata koji se određuju prema sastavu i veličini čestica.

Tablica 4. Podjela i kratak opis pojedinih mikrostaništa ([http://www.voda.hr/sites/default/files/metodologija\\_uzorkovanja\\_laboratorijskih\\_analiza\\_i\\_odredivanja\\_omjera\\_ekoloske\\_kakvoce\\_bioloskih\\_elementa\\_i\\_odluka.pdf](http://www.voda.hr/sites/default/files/metodologija_uzorkovanja_laboratorijskih_analiza_i_odredivanja_omjera_ekoloske_kakvoce_bioloskih_elementa_i_odluka.pdf)).

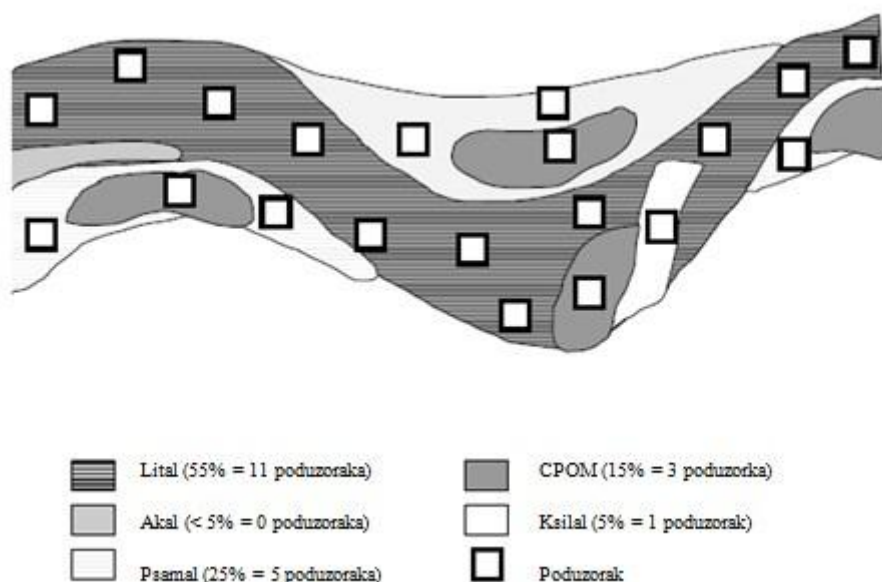
Mineralna mikrostaništa	Organska mikrostaništa
Megalital (> 40 cm) - Mg (veliko kamenje, blokovi i stijene)	Fital - F (nitaste alge, slojevi algi na kamenju)
Makrolital (20 cm - 40 cm) - Ma (veće kamenje)	Fital - F (submerzni alge, mahovine i makrofiti)
Mezolital (>6 cm - 20 cm) - Mz (kamenje veličine šake, oblutak)	Fital - F (emerzna makrofitska vegetacija, npr. <i>Typha</i> sp., <i>Carex</i> sp., <i>Pragmites</i> sp.)
Mikrolital (>2 cm - 6 cm) - Mi (srednji i krupni šljunak do veličine šake, valutice)	Fital - F (živi dijelovi kopnenog bilja, korijenje johe, priobalna vegetacija)
Akal (> 0,2 cm - 2 cm) - Ak (sitni šljunak)	Ksilal - X (veliki trupci, grane, korijenje u vodotoku)
Psamal / Psamopelal (> 6µm - 2 mm) - P (organski mulj, pijesak)	CPOM – POM (> 1 mm) (velike čestice organske tvari; lišće)
Argilal (< 6 µm) - Ar (anorganski mulj, glina)	FPOM (50 µm - 1 mm) (fine čestice organske tvari)
Teh nolital 1 (umjetno betonirana podloga)	Kanalizacijske gljivice (npr. <i>Sphaerotilus</i> i organski mulj)
Teh nolital 2 (umjetno betonirano korito)	Krhotine (nakupine kućica puževa i školjki)

Pojedini uzorak sastojao se od 20 poduzoraka koji su prikupljeni sa različitih tipova mikrostaništa odnosno supstrata (Slika 5). Svaki poduzorak je uzorkovan mrežom, podizanjem podloge s površine 0,0625 m<sup>2</sup>, a čini ga podignuti supstrat s pripadajućim životinjama. Jedan poduzorak predstavlja 5% zastupljenosti određenog tipa mikrostaništa prema čemu se definirao broj poduzoraka za određeno mikrostanište. Mikrostaništa s



postotnim udjelom manjim od 5% nisu uzorkovana. Ovim postupkom uzorkovalo se 1,25 m<sup>2</sup> površine istraživanog odsječka za svaku lokaciju.

Brojnosti pojedinih skupina makrozoobentosa u daljnjim poglavljima ovog rada analizirane su na temelju brojnosti jedinki po površini od 1,25 m<sup>2</sup>.



Slika 5. Raspodjela poduzoraka na teoretskom primjeru za metodu uzorkovanja makrozoobentosa (AQEM consortium 2002).

Nakon što je definiran broj poduzoraka prema udjelu svakog mikrostaništa, prikupljalo se 20 poduzoraka raspoređenih po uzorkovanom odsječku (Tablica 5) uz dodatna mjerenja dubine uzorkovanja, opisnog određivanja tipa toka i mjerenja brzine strujanja vode za pojedino mikrostanište.

Tablica 5. Karakteristike tipova mikrostaništa za istraživane lokacije.

	Lokacija 1 Cvetlin - degradirano			Lokacija 2 Cvetlin – prirodno					
Poduzorak	Psamal + detritus	Fital	Akal	Argilal	Mikrolital	Mezolital	Akal	Detritus	Psamal
Broj poduzoraka po staništu	20 poduzoraka			20 poduzoraka					
	x8	x8	x4	x6	x6	x4	x2	x1	x1
postotak staništa %	40%	40%	20%	30%	30%	20%	10%	5%	5%
Karakter supstrata	organski mulj, pijesak	vodena vegetacija	sitni šljunak	anorganski mulj, glina	srednji i krupni šljunak, valutice	kamenje veličine šake, oblutak	sitni šljunak	čestice mrtve organske tvari	pijesak



AQUEM protokol predlaže da se svih 20 poduzoraka s jedne lokacije sprema zajedno. U svrhu ovog istraživanja poduzorci su razdvojeni i fiksirani zasebno po tipovima mikrostaništa kako bi dobili detaljnije informacije o sklonostima pojedinih svojti prema određenom tipu mikrostaništa.

U ovome istraživanju zbog manjeg broja postaja nije bilo smanjivanja uzoraka koje predlaže AQEM, te su izolirani cijeli poduzorci svih mikrostaništa. Svi prikupljeni organizmi su se dalje odvajali u skupine te determinirali do najniže sistematske kategorije uz pomoć dostupne literature i ključeva za determinaciju (Nilsson 1996, Nilsson 1997). Uzorkovanje se provodilo od nizvodnog dijela prema uzvodnome dijelu odsječka tekućice kako ne bi došlo do fizičkog remećenja supstrata i uznemiravanja faune. Dužina uzorkovanog odsječka na istraživanoj postaji iznosila je 100 m.

### **3.3.3. Metoda uzorkovanja makrozoobentosa**

Prilikom prikupljanja poduzoraka koristila se ručna bentos mreža koja se postavila uspravno na supstrat, a otvor metalnog okvir se postavljao pod pravim kutom u odnosu na korito tako da tok vode ulazi u mrežu. Nakon postavljanja mreže udarcima noge (eng. „*kick sampling*“) i okretanjem pete čizme podizao se i remetio supstrat sa faunom do najmanje 10 - 15 cm dubine. Taj proces se radio na površini od 25 x 25 cm uzvodno od otvora mreže. Bilo je potrebno paziti da se mreža drži dovoljno blizu kako bi makrozoobentos bio otplavljen u mrežu, ali i dovoljno daleko od noge kako bi većina sedimenta i ostatak supstrata pao na dno prije ulaska u mrežu. Ovisno o tome kakvo je bilo mikrostanište, s površine uzorkovanja su se rukom uzimali veći komadi drvenog materijala, veće kamenje i makrofiti koji su se stavljali u plastičnu kantu. Taj materijal se kasnije ručno pregledavao kako bi se pincetom pokupile vrste koje žive pričvršćene uz njihove površine i teško se otplavljaju. Kod mikrostaništa koja sadrže sitniji supstrat podloga se lagano remetila rukom ili se mreža lagano gurala kroz supstrat (posebice kod sporijeg toka) do dubine 2-5 cm suprotno od smjera toka vode.

Prilikom uzorkovanja mreža se praznila nakon svaka 2 do 3 uzeta poduzorka zbog velike količine nakupljenog materijala. Sabrani materijal u mreži se dodatno ispirao od mulja potezanjem mreže po vodi suprotno od smjera strujanja vode, a zatim se prebacivao u plastičnu kantu napunjenu vodom. Sve ono što nije makrofauna dna predstavljalo je suvišan materijal: sediment, makrofiti, drveni materijal. Radi lakše kasnije obrade bilo je potrebno odvojiti makrozoobentos od suvišnog materijala koji se našao u uzorcima. Daljnja obrada prikupljenog materijala uključivala je dekantiranje, sortiranje i prosijavanje kroz manju ručnu

mrežu promjera okašca 500  $\mu\text{m}$ . Ti postupci su se ponavljali ukoliko je uzorak i dalje bio velik. Sadržaj mreže se prebacivao iz plastične kante u fotografsku kadnicu sa nekoliko centimetara vode preokretanjem mreže i istresanjem materijala.

Uzorci su fiksirani na terenu 96%-tnim alkoholom i spremeni u bočice sa širokim grlom koje su se označavale vodootpornim flomasterom i čvrsto zatvarale. Na bočice su obavezno zapisivani brojevi poduzoraka i tipovi mikrostaništa te datum, lokacija istraživanog odsječka i naziv tekućice. Izolacija životinja provedena je u laboratoriju korištenjem binokularne lupe marke XTL - 3400. Prilikom uzorkovanja većih organizama koji su rijetki i osjetljivi (u ovom slučaju *Unio crassus*, školjkaš (Bivalvia)), determinacija je provedena direktno na terenu, a organizmi su živi vraćeni u vodotok.

### **3.4. Analiza podataka**

U rezultatima su analizirane samo skupine koje su na barem jednoj lokaciji činile najmanje 1% udjela u ukupnoj brojnosti jedinki. Te skupine su: dvokrilci (Diptera), rakušci (Amphipoda), maločetinaši (Oligochaeta), vodencvjetovi (Ephemeroptera), tulari (Trichoptera), školjkaši (Bivalvia) i kornjaši (Coleoptera).

Međusobna sličnost zajednica makrozoobentosa testirana je pomoću nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja (MDS) pri čemu se kao mjera sličnosti koristio Bray-Curtisov koeficijent sličnosti. Prije analize podaci su normalizirani i načinjena je  $\log(x+1)$  transformacija. Analiza je rađena pomoću računalnog programa Primer 6.1.6. (Clarke i Gorley 2006).

Tablice sa popisom svojti analizirane su pomoću računalnog programa Asterics 4.04 za izračune udjela funkcionalnih hranidbenih skupina. Podaci prikazani tablicama i grafovima izrađeni su u programu Microsoft Excel 2007.

## 4. REZULTATI

### 4.1. Fizikalno-kemijski parametri vode

Promjene fizikalno – kemijskih i kemijskih parametara vode kroz godišnja doba prikazane su u Tablici 6. Mjerenja su izvršena na mjestu uzorkovanja makrozoobentosa na obje lokacije. Mjerenje u ljeti (28.6.2015.), izvršeno je dva dana prije uzorkovanja makrozoobentosa. Uzorci vode za analizu dodatnih kemijskih parametara uzimani su samo na lokaciji 1 Cvetlin degradirano.

Tablica 6. Vrijednosti pojedinih fizikalno – kemijskih parametara na istraživanim lokacijama.

\*Nema podataka.

Datum		20.3. 2015.		28.6.2015.		04.10.2015.	
Lokacija		Lokacija 1 Cvetlin degradirano	Lokacija 2 Cvetlin prirodno	Lokacija 1 Cvetlin degradirano	Lokacija 2 Cvetlin prirodno	Lokacija 1 Cvetlin degradirano	Lokacija 2 Cvetlin prirodno
FIZIKALNO – KEMIJSKI PARAMETRI	Temperatura vode (°C)	5,6	9,0	24,8	22,5	12,5	12,5
	O <sub>2</sub> (mg/L)	14,6	13,1	8,91	6,02	7,1	7,1
	zasićenje O <sub>2</sub> (%)	118	116	109,2	70,9	*	
	El. vodljivost (μS/cm)	562	552	608	609		
	pH	8,17	8,13	8,03	*		
DODATNI KEMIJSKI PARAMETRI	KMnO <sub>4</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	2,7		3,7		3,9	
	BPK <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	1,7		2,7		2,2	
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg N/L)	0,1763		0,1288		0,024	
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg N/L)	0,0057		0,0688		0,0092	
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg N/L)	0,4841		0,8725		1,9892	
	ukupni N (mg N/L)	0,69		1,1		2,395	
	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg P/L)	0,019		0,022		0,035	
	Ukupni P (mg P/L)	0,037		0,13		0,07	

Mjerenjem osnovnih fizikalno - kemijskih parametara utvrđeno je da nema značajnih razlika između postaja što se posebice odnosi na električnu vodljivost i pH vrijednost vode. Manje pojedinačne razlike između postaja zamijećene su kod tri parametra. Mjerenja su pokazala da se temperatura vode u proljeće i ljeti na degradiranoj lokaciji 1 kretala u malo većem rasponu (5,6 °C do 24,8 °C) od temperature na lokaciji 2 (9,0 °C do 22,5 °C). Utvrđeno je da je koncentracija otopljenog kisika u vodi u proljeće i ljeto na lokaciji 1 (14,6 i 8,91 mg/L ) bila malo veća nego na lokaciji 2 (13,1 i 6,02 mg/L). Vrijednosti zasićenja vode

kisikom na obje lokacije su bile gotovo jednake u proljeće, dok je ljeti ta vrijednost na lokaciji 2 manja (lokacija 1 - 109,2 %, lokacija 2 - 70,9 %).

Mjerenja dodatnih parametara koji pokazuju na prisustvo organskih tvari i koncentracije hranjivih tvari u vodi su pokazala da su njihove vrijednosti najmanje u proljeće i da maksimume postižu ljeti (biološka potrošnja kisika - BPK<sub>5</sub>, ukupni fosfor) i u jesen (potrošnja KMnO<sub>4</sub>, nitriti, nitrati, ukupni dušik i ortofosfati). Jedina iznimka od toga su vrijednosti amonijaka koje su bile najveće u proljeće (0,1763 mg N/L) i smanjivale se kroz ljeto i jesen kad je izmjerena najmanja vrijednost (0,024 mg N/L).

## 4.2. Ocjena hidromorfološkog stanja istraživanih lokacija

### 4.2.1. Lokacija 1 Cvetlin degradirano

Ukupna hidromorfološka ocjena za ovu lokaciju je 3,31 što ovu dionicu vodotoka svrstava u klasu 3 ili umjereno hidromorfološko stanje od postojećih 5 klasa (Tablica 7). Klasa 3 kreće se između vrijednosti ocjena od 2,5 do 3,4 što znači da se lokacija nalazi u gornjoj granici te klase i približava se klasi 4 ili lošem hidromorfološkom stanju s rasponom ocjene od 3,5 do 4,4.

Tablica 7. Ocjena hidromorfološkog stanja za 16 hidromorfoloških pokazatelja sa ukupnom ocjenom (srednja vrijednost) i ocjenom (srednja vrijednost) po glavnim hidromorfološkim kategorijama za lokaciju 1 Cvetlin degradirano.

<b>LOKACIJA 1 Cvetlin degradirano</b>		Ocjena	Ocjena po kategoriji hidromorfoloških pokazatelja
Hidromorfološki pokazatelj :			
<b>HIDROLOGIJA</b>			
1.. Učinci umjetnih građevina u koritu unutar dionice		3	2
2. Učinci promjena širom sliva na karakter prirodnog toka		2	
3. Učinci promjene u dnevnom protoku		1	
<b>UZDUŽNA POVEZANOST</b>			
4. Uzdužna povezanost pod utjecajem umjetnih građevina		1	1
<b>MORFOLOGIJA</b>			
Geometrija korita	5. Tlocrtni oblik	5	3,83
	6. Presjek korita	5	
Podloge	7. Količina umjetnih tvrdih materijala	1	
	8. Mješavina „prirodnih“ podloga ili izmijenjena značajka	5	
Vegetacija i organski ostaci u koritu	9. Uklanjanje vodene vegetacije	5	
	10. Količina drvenih ostataka, ako se isti očekuju	5	
11. Karakter erozije/taloženja		3	
12. Struktura obale i promjene na obali		3	
13. Vrsta/struktura vegetacije na obalama i na okolnom zemljištu		5	
14. Korištenje zemljišta i s time povezana obilježja		5	
Interakcija između korita i poplavnog područja	15. Stupanj lateralne povezanosti rijeke i poplavnog područja	2	
	16. Stupanj lateralnog kretanja riječnog korita	2	
<b>Ukupna ocjena</b>		<b>3,31</b>	

Opis klasa hidromorfološkog stanja: 1 = gotovo prirodno, 2 = neznatno promijenjeno, 3 = umjereno promijenjeno, 4 = promijenjeno u velikoj mjeri, 5 = izrazito promijenjeno.

Ako usporedimo ocjene za 3 kategorije hidromorfoloških pokazatelja, Lokacija 1 Cvetlin degradirano je za kategoriju hidrologije ocijenjena kao klasa 2 ili dobro hidromorfološko stanje, za kategoriju uzdužne povezanosti kao klasa 1 ili vrlo dobro hidromorfološko stanje. Kategorija morfologije ima najlošiju ocjenu od 3,83 i pripada klasi 4 ili lošem hidromorfološkom stanju.

#### **4.2.2. Lokacija 2 Cvetlin prirodno**

Ukupna hidromorfološka ocjena za ovu lokaciju je 1,56 što ovu dionicu vodotoka svrstava u klasu 2 ili dobro hidromorfološko stanje od postojećih 5 klasa (Tablica 8). Klasa 2 kreće se između vrijednosti ocjena od 1,5 do 1,4 što znači da se lokacija nalazi u nižoj granici te klase i približava se klasi 1 ili vrlo dobrom hidromorfološkom stanju s rasponom ocjene od 1,0 do 1,4.

Ako usporedimo ocjene za 3 kategorije hidromorfoloških pokazatelja, Lokacija 2 Cvetlin prirodno je za kategoriju hidrologije i za kategoriju uzdužne povezanosti rijeke ocijenjena kao klasa 1 ili vrlo dobro hidromorfološko stanje. Kategorija morfologije ima lošiju ocjenu od 1,75 i pripada klasi 2 ili dobrom hidromorfološkom stanju.

Tablica 8. Ocjena hidromorfološkog stanja za 16 hidromorfoloških pokazatelja sa ukupnom ocjenom (srednja vrijednost) i ocjenom (srednja vrijednost) po glavnim hidromorfološkim kategorijama za lokaciju 2 Cvetlin prirodno.

LOKACIJA 2 Cvetlin prirodno		Ocjena	Ocjena po kategoriji hidromorfoloških pokazatelja
Hidromorfološki pokazatelj			
HIDROLOGIJA			
1.. Učinci umjetnih građevina u koritu unutar dionice		1	1
2. Učinci promjena širom sliva na karakter prirodnog toka		1	
3. Učinci promjene u dnevnom protoku		1	
UZDUŽNA POVEZANOST			
4. Uzdužna povezanost pod utjecajem umjetnih građevina		1	1
MORFOLOGIJA			
Geometrija korita	5. Tlocrtni oblik	2	1,75
	6. Presjek korita	3	
Podloge	7. Količina umjetnih tvrdih materijala	1	
	8. Mješavina „prirodnih“ podloga ili izmijenjena značajka	1	
Vegetacija i organski ostaci u koritu	9. Uklanjanje vodene vegetacije	1	
	10. Količina drvenih ostataka, ako se isti očekuju	1	
11. Karakter erozije/taloženja		3	
12. Struktura obale i promjene na obali		2	
13. Vrsta/struktura vegetacije na obalama i na okolnom zemljištu		2	
14. Korištenje zemljišta i s time povezana obilježja		3	
Interakcija između korita i poplavnog područja	15. Stupanj lateralne povezanosti rijeke i poplavnog područja	1	
	16. Stupanj lateralnog kretanja riječnog korita	1	
Ukupna ocjena		1,56	

Opis klasa hidromorfološkog stanja: 1 = gotovo prirodno, 2 = neznatno promijenjeno, 3 = umjereno promijenjeno, 4 = promijenjeno u velikoj mjeri, 5 = izrazito promijenjeno.

#### 4.3. Sastav i brojnost zajednice makrozoobentosa na istraživanim lokacijama

Makrozoobentos je uzorkovan sa svih dostupnih staništa razmjerno njihovoj zastupljenosti na mjestu uzorkovanja, prema čemu su na lokaciji 1 Cvetlin degradirano uzorkovana 3 mikrostaništa (psamal+detritus, fital, akal) dok je na lokaciji 2 Cvetlin prirodno uzorkovano 6 mikrostaništa (argilal, mikrolital, mezolital, akal, detritus, psamal).

Ukupno je prikupljeno 17 408 jedinki makrozoobentosa na obje lokacije raspoređenih u 15 sistematskih skupina (Tablica 9 i 10). Veći broj jedinki je prikupljen na lokaciji 1 Cvetlin degradirano, sa 10 043 jedinki raspoređenih kroz 14 različitih skupina, dok je na lokaciji 2 prikupljeno 7 365 jedinki raspoređenih kroz 12 različitih skupina.

Tablica 9. Brojnost jedinki ukupno po lokacijama i po mikrostaništima istraživanih lokacija. Oznake mikrostaništa: P+D - psamal+detritus, FIT – fital, AKA - akal, ARG - argilal, MIK - mikrolital, MEZ - mezolital, DET - detritus, PSA – psamal. Crveno su označene skupine koje su analizirane, a koje na barem jednoj lokaciji čine najmanje 1 % udjela u ukupnoj brojnosti jedinki.

	Lok1	Lok2	Lokacija 1 : Cvetlin -degradirano			Lokacija 2 : Cvetlin - prirodno					
Skupina	Ukupan broj jedinki		P+ D	FIT	AKA	ARG	MIK	MEZ	AKA	DET	PSA
Amphipoda	2215	1760	514	1354	347	497	531	46	439	104	143
Diptera	4012	2940	897	1321	1794	1465	599	150	176	158	392
Bivalvia	235	1	2	60	173	-	-	-	-	-	1
Gastropoda	4	0	-	4	-	-	-	-	-	-	-
Coleoptera	42	436	4	16	22	29	152	35	202	14	4
Trichoptera	300	208	22	190	88	7	29	56	87	19	10
Ephemeroptera	618	860	65	363	190	76	353	84	283	49	15
Plecoptera	2	8	-	2	-	-	2	-	5	1	-
Odonata	100	0	2	94	4	-	-	-	-	-	-
Oligochaeta	2458	1141	619	309	1530	219	330	44	407	3	138
Hirudinea	28	1	6	5	17	-	-	1	-	-	-
Lepidoptera	3	0	1	1	1	-	-	-	-	-	-
Megaloptera	1	2	-	1	-	1	1	-	-	-	-
Heteroptera	25	2	3	22	-	-	2	-	-	-	-
Hydrachnida	0	6	-	-	-	-	3	-	-	2	1
Ukupno:	10043	7365	2135	3742	4166	22294	2002	416	1599	350	704



Tablica 10. Brojnost svojti makrozoobentosa i pridružene oznake za funkcionalne hranidbene grupe (Moog 2002): SHR – usitnjivači, DET – detritivori ili sakupljači, GRA – strugači, AFIL – aktivni procjeđivači, PFIL - pasivni procjeđivači, PRE – grabežljivci, MIN – bušači, XYL – ksilofagi, OTH – ostalo. Broj pored oznake funkcionalne hranidbene skupine predstavlja utvrđenu preferenciju svojte od 1 do 10 gdje 10 označava najveću preferenciju. Oznake pored hranidbene grupe: + utvrđena preferencija; \* utvrđena jaka preferencija.

Svojta	Funkcionalna hranidbena grupa	Brojnost jedinki	
		Lokacija 1	Lokacija 2
<b>AMPHIPODA</b>			
<i>Gammarus fossarum</i>	<b>SHR – 7</b> , DET – 2, GRA – 1	392	982
<i>Gammarus roeseli</i>	<b>SHR – 5</b> , DET – 3, GRA – 1, PRE – 1	1823	635
<i>Gammarus</i> sp.	<b>SHR – 6</b> , DET – 3, GRA -1	0	143
<b>BIVALVIA</b>			
<i>Pisidium</i> sp.	<b>AFIL – 10</b>	235	0
<i>Unio crassus</i> ssp.	<b>AFIL – 10</b>	0	1
<b>CHIRONOMIDAE</b>			
<i>Chironomus</i> sp.	<b>DET – 7</b> , AFIL - 3	3	0
<i>Cryptochironomus</i> sp.	<b>PRE – 7</b> , DET - 3	15	2
<i>Micropsectra</i> sp.	<b>DET – 8</b> , AFIL – 1, GRA – 1	3	0
<i>Microtendipes</i> sp.	<b>DET – 7</b> , AFIL – 2, GRA – 1	1249	2204
<i>Paratendipes albimanus</i>	<b>DET – 8</b> , AFIL – 1, GRA – 1	6	0
<i>Polypedilum pedestre</i>	<b>DET – 8</b> , AFIL – 1, GRA – 1	828	307
<i>Polypedilum scalaenum</i>	<b>DET – 8</b> , AFIL – 1, GRA – 1	1	0
<i>Procladius choreus</i>	<b>PRE – 6</b> , DET – 4	12	0
<i>Prodiamesa olivacea</i>	<b>DET -7</b> , AFIL – 3	1383	3
<i>Rheotanytarsus</i> sp.	<b>PFIL – 8</b> , DET – 1, GRA – 1	2	18
<i>Tanytarsus</i> sp.	<b>DET – 7</b> , GRA -2, AFIL -1	1	189
ORTHOCLADIINAE	<b>GRA – 5</b> , DET – 5	5	28
TANYPODINAE	<b>PRE – 9</b> , DET – 2	44	40
<b>COLEOPTERA - ličinke</b>			
DYTISCIDAE			
<i>Hygrotus</i> sp.	<b>PRE – 10</b>	0	1
ELMIDAE			
<i>Elmis</i> sp.	SHR - +, DET - +, GRA - *	1	12
<i>Limnius</i> sp.	SHR - +, DET - +, GRA - *	1	22
<i>Oulimnius</i> sp.	<b>GRA – 7</b> , DET - 3,	14	57
HALIPLIDAE			
<i>Halipplus</i> sp.	<b>OTH – 10</b>	1	0
HYDROPHILIDAE			
<i>Sphaeridium</i> sp.	Nema podataka	2	0
<b>COLEOPTERA – odrasli</b>			
DRYOPIDAE			
<i>Pomatinus</i> sp.	<b>SHR - 10</b>	1	0

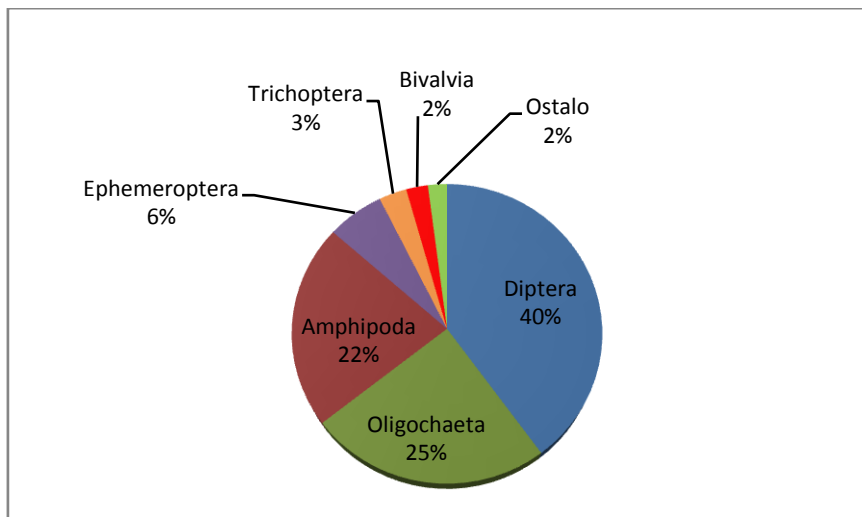
DYTISCIDAE			
<i>Copelatus</i> sp.	<b>PRE - 10</b>	4	0
ELMIDAE			
<i>Oulimnius</i> sp.	SHR - +, DET - +. GRA - *	13	279
HYDRAENIDAE			
<i>Hydraena</i> sp.	<b>GRA – 10</b> , DET - +	4	65
HYDROPHILIDAE			
<i>Anacaena</i> sp.	SHR - +, GRA - *, DET - *	1	0
<b>DIPTERA</b>			
CERATOPOGONIDAE	<b>PRE - 10</b>	6	45
EPHYDRIDAE	Nema podataka	3	0
LIMONIIDAE	Nema podataka	29	31
PSYCHODIDAE	Nema podataka	1	0
SIMULIIDAE	<b>PFIL - 10</b>	384	73
TABANIDAE	Nema podataka	36	0
TIPULIDAE	<b>SHR - 7</b> , DET - 3	1	0
<b>EPHEMEROPTERA</b>			
BAETIDAE			
<i>Baetis</i> sp.	<b>GRA - 5</b> , DET - 5	207	150
<i>Baetis fuscatus</i>	GRA - *, DET - *	1	0
<i>Baetis pentaphlebodes</i>	GRA - *, DET - *	111	33
<i>Baetis rhodani</i>	GRA - *, DET - *	89	17
<i>Baetis vernus</i>	GRA - *, DET - *	120	174
<i>Centroptilum luteolum</i>	GRA - *, DET - *	0	13
<i>Procloeon pennulatum</i>	<b>GRA – 10</b>	0	1
EPHEMERELLIDAE			
<i>Serratella ignita</i>	<b>GRA - 10</b>	13	27
EPHEMERIDAE			
<i>Ephemera danica</i>	<b>AFIL – 10</b> , GRA - *, DET - +, PRE - *	0	2
HEPTAGENIIDAE			
Heptageniidae juv.	GRA - *, DET - *	0	12
<i>Ecdyonurus macani</i>	GRA - *, DET - *	0	2
<i>Electrogena ujhelyii</i>	GRA - *, DET - *	20	107
LEPTOPHLEBIIDAE			
Leptophlebiidae	<b>DET – 10</b>	26	73
<i>Habrophlebia fusca</i>	GRA - *, DET - *	31	249
<b>GASTROPODA</b>			
<i>Radix labiata</i>	<b>SHR – 3</b> , <b>GRA – 3</b> , DET – 2, OTH - 2	4	0
<b>HETEROPTERA</b>	<b>PRE – 10</b>	25	2
<b>HIRUDINEA</b>			
<i>Erpobdella octoculata</i>	<b>PRE – 10</b>	1	0
<i>Glossiphonia complanata complanata</i>	<b>PRE – 10</b>	14	0
<i>Glossiphonia</i> sp.	<b>PRE – 10</b>	4	0
<i>Helobdella stagnali</i>	<b>PRE – 10</b>	9	1
<b>HYDRACHNIDA</b>			

<i>Atractides</i> sp.	PRE – 10	0	1
<i>Lebertia</i> sp.	PRE – 10	0	1
<i>Sperchon</i> sp.	PRE – 10	0	1
<i>Sperchonopsis verrucosa</i>	PRE - 10	0	3
<b>LEPIDOPTERA</b>	SHR – 7, MIN - 3	3	0
<b>MEGALOPTERA</b>			
<i>Sialis fuliginosa</i>	PRE – 10	0	2
<i>Sialis lutaria</i>	PRE – 10	1	0
<b>ODONATA</b>			
<b>ANISOPTERA</b>			
<i>Cordulegaster boltonii</i>	PRE – 10	0	0
<i>Gomphus vulgatissimus</i>	PRE – 10	1	0
<i>Onchyogomphus forcipatus</i>	PRE – 10	1	0
<i>Orthetrum albistylum</i>	PRE – 10	1	0
<b>ZYGOPTERA</b>			
<b>COENAGRIONIDAE</b>	PRE – 10	97	0
<b>OLIGOCHAETA</b>	DET – 10	2458	1141
<b>PLECOPTERA</b>			
<b>NEMOURIDAE</b>			
<i>Amphinemura</i> sp.	GRA – 5, DET – 3, SHR – 2	0	2
<i>Nemurella pictetii</i>	DET – 5, GRA – 3, SHR – 2	2	4
<b>LEUCTRIDAE</b>			
<i>Leuctra braueri</i>	DET – 4, DET – 3, SHR – 3	0	1
<i>Leuctra</i> sp.	DET – 4, DET – 3, SHR – 3	0	1
<b>TRICHOPTERA</b>			
<b>BERAEIDAE</b>	SHR – 5, DET - 5	0	6
<b>GOERIDAE</b>	GRA – 9, DET – 1	2	1
<i>Goera pilosa</i>	GRA – 9, DET – 1	16	12
<i>Lithax</i> sp.	GRA – 9, DET – 1	1	4
<i>Lithax niger</i>	GRA – 9, DET – 1	1	0
<b>HYDROPSYCHIDAE</b>			
<i>Hydropsyche</i> sp.	PFIL – 5, PRE – 3, GRA - 2	193	62
<i>Hydropsyche angustipennis angustipennis</i>	PFIL – 5, PRE – 3, GRA – 2	0	1
<i>Hydropsyche contubernalis contubernalis</i>	PFIL – 5, PRE – 3, GRA – 2	0	12
<i>Hydropsyche incognita</i>	PFIL – 5, PRE – 3, GRA – 2	2	2
<i>Hydropsyche instabilis</i>	PFIL – 5, PRE – 3, GRA – 2	20	0
<i>Hydropsyche modesta</i>	PFIL – 5, PRE – 3, GRA – 2	11	13
<i>Hydropsyche pellucidula</i>	PFIL – 5, PRE – 3, GRA – 2	10	0
<i>Hydropsyche saxonica</i>	PFIL – 5, PRE – 3, GRA – 2	9	6
<b>HYDROPTILIDAE</b>			
<i>Hydroptila</i> sp.	DET – 5, OTH – 5	5	0
<b>LEPIDOSTOMATIDAE</b>			
<i>Lepidostoma</i> sp.	GRA – 5, XYL – 3, SHR – 2	1	5
<b>LEPTOCERIDAE</b>			

<i>Athripsodes</i> sp.	<b>SHR – 5, DET – 3, PRE – 2</b>	1	1
<i>Ceraclea dissimilis</i>	<b>OTH - 10</b>	0	3
<i>Ceraclea</i> sp.	<b>OTH – 10</b>	10	5
LEPTOCERIDAE		16	3
<i>Oecetis</i> sp.	<b>PRE – 10</b>	0	17
LIMNEPHILIDAE			
<i>Anabolia furcata</i>	<b>SHR – 5, GRA – 2, PRE – 2, DET – 1</b>	1	1
<i>Halesus digitalus/tesselatus</i>	<b>SHR – 7, PRE – 2, GRA – 1</b>	0	37
<i>Halesus</i> sp.	<b>SHR – 7, PRE – 2, GRA – 1</b>	1	0
<i>Limnephilus</i> sp.	<b>SHR – 5, PRE – 3, GRA - 2</b>	0	6
POLYCENTROPODIDAE	<b>PRE – 9, PFIL – 1</b>	0	3
<i>Polycentropus</i> sp.	<b>PRE – 9, PFIL – 1</b>	0	4
PSYCHOMYIIDAE			
<i>Tinodes dives dives</i>	<b>GRA – 8, PFIL – 1, DET - 1</b>	0	1
<i>Tinodes</i> sp.	<b>GRA – 8, PFIL – 1, DET – 1</b>	0	1
RHYACOPHILIDAE			
<i>Rhyacophila vulgaris</i>	<b>PRE – 10</b>	0	1
SERICOSTOMATIDAE	<b>SHR – 10</b>	0	1

#### 4.3.1. Sastav i gustoća zajednice makrozoobentosa na lokaciji 1 Cvetlin degradirano

Dominantna skupina (Slika 6) koja je prevladavala na lokaciji 1 su bili dvokrilci (Diptera), odnosno ličinke vrsta iz porodice trzalaca (Chironomidae), sa postotnim udjelom u ukupnoj brojnosti od 40%. Na lokaciji 1 ukupna brojnost dvokrilaca (Diptera), maločetinaša (Oligochaeta) i rakušaca (Amphipoda) činila je 87% ukupne brojnosti. Malobrojnije skupine su bili tulari (Trichoptera) s 3% i školjkaši (Bivalvia) s 2% brojčanog udjela.



Slika 6. Dominantne skupine makrozoobentosa na lokaciji 1 Cvetlin degradirano s brojčanim udjelom većim od 1%.

#### Dvokrilci (Diptera)

Najbrojnija skupina na lokaciji 1 su bili Diptera s udjelom u ukupnom broju jedinki od 40%, od čega prevladava porodica Chironomidae s 3552 jedinki ili 86% ukupnog broja Diptera. Ličinke vrste *Prodiamesa olivacea* činile su čak 39% brojnosti porodice Chironomidae. Od ostalih porodica Diptera zabilježeno je ukupno 460 jedinki iz porodica Ephydriidae, Ceratopogonidae, Limoniidae, Simuliidae, Psychodidae, Tabanidae i Tipulidae. Najbrojnija od tih porodica bila je porodica Simuliidae s 83% od ukupnog broja jedinki ili 384 jedinke.

#### Maločetinaši (Oligochaeta)

Maločetinaši (Oligochaeta) su druga po redu najbrojnija skupina s udjelom od 25% u ukupnoj brojnosti jedinki na lokaciji 1. Ukupno je prikupljeno 2458 jedinki. Zbog problematičnosti determinacije ova skupina nije dalje determinirana.

### **Rakušci (Amphipoda)**

Unutar porodice Gammaridae zabilježene su dvije vrste *Gammarus fossarum* i *Gammarus roeseli* koje zajedno čine 22% od ukupne brojnosti jedinki na lokaciji 1. Broj jedinki vrste *Gammarus roeseli* (1823 jedinke) je bio znatno veći od broja jedinki vrste *Gammarus fossarum* (392 jedinke).

### **Vodencvjetovi (Ephemeroptera)**

Ova skupina je u ukupnoj brojnosti makrozoobentosa na lokaciji 1 zauzela udio od 6% ili 618 jedinki. Unutar Ephemeroptera zabilježeni su pripadnici iz porodica Baetidae, Ephemerellidae, Heptagenidae, Leptohlebiidae, Ephemeridae od kojih brojčano prevladava porodica Baetidae. Najbrojnije vrste bile su *Baetis pentaplebedes* i *Baetis rhodani* iz porodice Baetidae, koje su činile trećinu prikupljenih Ephemeroptera na lokaciji 1.

### **Tulari (Trichoptera)**

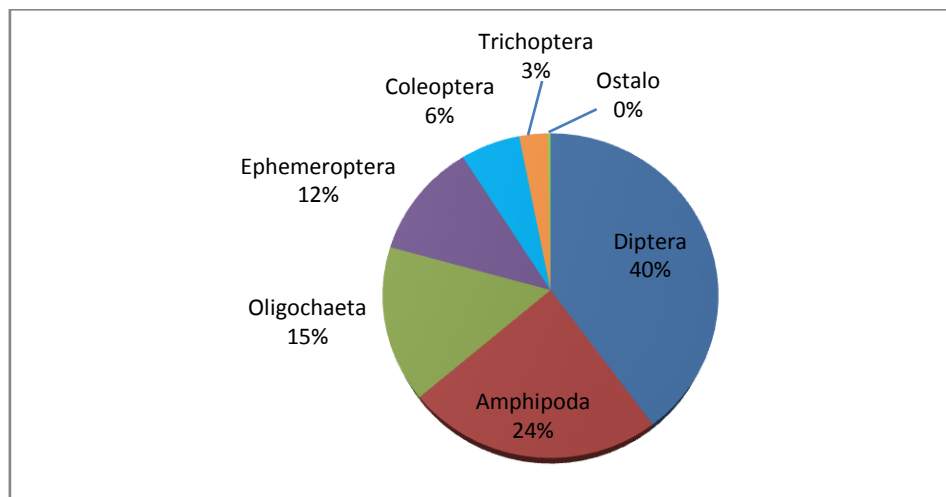
Ličinke ove skupine činile su samo 3% ukupne brojnosti makrozoobentosa na lokaciji 1 s ukupno 300 prikupljenih jedinki. Unutar skupine zabilježene su porodice Goeridae, Hydropsychidae, Hydroptilidae, Lepidostomatidae, Leptoceridae i Limnephilidae. Najbrojnija među njima je porodica Hydropsychidae koja je činila 82% ukupnog broja jedinki (245 jedinki) tulara.

### **Školjkaši (Bivalvia)**

Ova skupina zauzela je tek 2% ukupne brojnosti makrozoobentosa na lokaciji 1. Zabilježena je samo jedna porodica Sphaeriidae sa samo jednim predstavnikom, rod *Pisidium*, s ukupnim brojem od 235 jedinki.

#### 4.3.2. Sastav i gustoća zajednice makrozoobentosa na lokaciji 2 Cvetlin prirodno

Dominantna skupina (Slika 7) koja je prevladavala na lokaciji 2 su bili dvokrilci (Diptera), odnosno ličinke vrsta iz porodice trzalaca (Chironomidae), sa postotnim udjelom u ukupnoj brojnosti od 40%. Na lokaciji 2 ukupna brojnost dvokrilaca (Diptera), maločetinaša (Oligochaeta) i rakušaca (Amphipoda) činila je 79% ukupne brojnosti.



Slika 7. Dominantne skupine makrozoobentosa na lokaciji 2 Cvetlin prirodno s brojčanim udjelom većim od 1%.

##### Dvokrilci (Diptera)

Najbrojnija skupina na lokaciji 2 zauzela je 40% od ukupnog broja jedinki makrozoobentosa, od čega je prevladavala porodica Chironomidae s 2791 jedinkom ili 96% ukupnog broja jedinki Diptera. Ličinke roda *Microtendipes* činile su čak 79% brojnosti porodice Chironomidae. Od ostalih porodica Diptera zabilježeno je ukupno 149 jedinki iz porodica Ceratopogonidae, Limoniidae i Simuliidae. Najbrojnija od tih porodica bila je porodica Simuliidae s 49% (73 jedinke).

##### Rakušci (Amphipoda)

Unutar porodice Gammaridae zabilježene su dvije vrste *Gammarus fossarum* i *Gammarus roeseli* koje su zajedno svojom brojnošću doprinijele s udjelom od 24% ukupne brojnosti jedinki na lokaciji 2. Broj jedinki vrste *Gammarus fossarum* (982 jedinki) je bio veći od broja jedinki vrste *Gammarus roeseli* (635 jedinki).

### **Maločetinaši (Oligochaeta)**

Za maločetinaše (Oligochaeta) je utvrđeno da čine udio od 15% u ukupnoj brojnosti jedinki makrozoobentosa na lokaciji 2 gdje je prikupljeno ukupno 1141 jedinki. Zbog problematičnosti determinacije ova skupina nije dalje determinirana.

### **Vodencvjetovi (Ephemeroptera)**

Ova skupina je u ukupnoj brojnosti makrozoobentosa na lokaciji 2 zauzela udio od 12% ili 860 prikupljenih jedinki. Unutar skupine Ephemeroptera zabilježeni su pripadnici iz porodica Baetidae, Ephemerellidae, Ephemeridae Heptagenidae i Leptohlebiidae. Brojnošću i vrstama izdvajala se porodica Baetidae. Brojčano Brojem jedinki izdvajale su se i vrste *Electrogena ujhelyii* iz porodice Heptagenidae i *Habrophlebia fusca* iz porodice Leptohlebiidae.

### **Kornjaši (Coleoptera)**

Ličinke i odrasle jedinke ove skupine zauzimaju 6% od ukupne brojnosti na lokaciji 2 s prikupljenih 436 jedinki. Unutar lokacije zabilježene su porodice Dytiscidae, Hydraenidae i Elmidae koje prevladavaju s 85% zastupljenosti ili ukupno 370 jedinki.

### **Tulari (Trichoptera)**

Ličinke ove skupine činile su samo 3% ukupne brojnosti makrozoobentosa na lokaciji 2 s ukupno 208 prikupljenih jedinki. Unutar skupine zabilježene su porodice Beraeidae, Goeridae, Hydropsychidae, Lepidostomatidae, Leptoceridae, Limnephilidae, Polycentropodidae, Psychomyiidae, Rhyacophilidae i Sericostomatidae. Najbrojnija među njima je porodica Hydropsychidae koja je činila 52% ukupnog broja jedinki (96 jedinki).



#### 4.3.3. Usporedba sastava i brojnosti makrozoobentosa između istraživanih lokacija

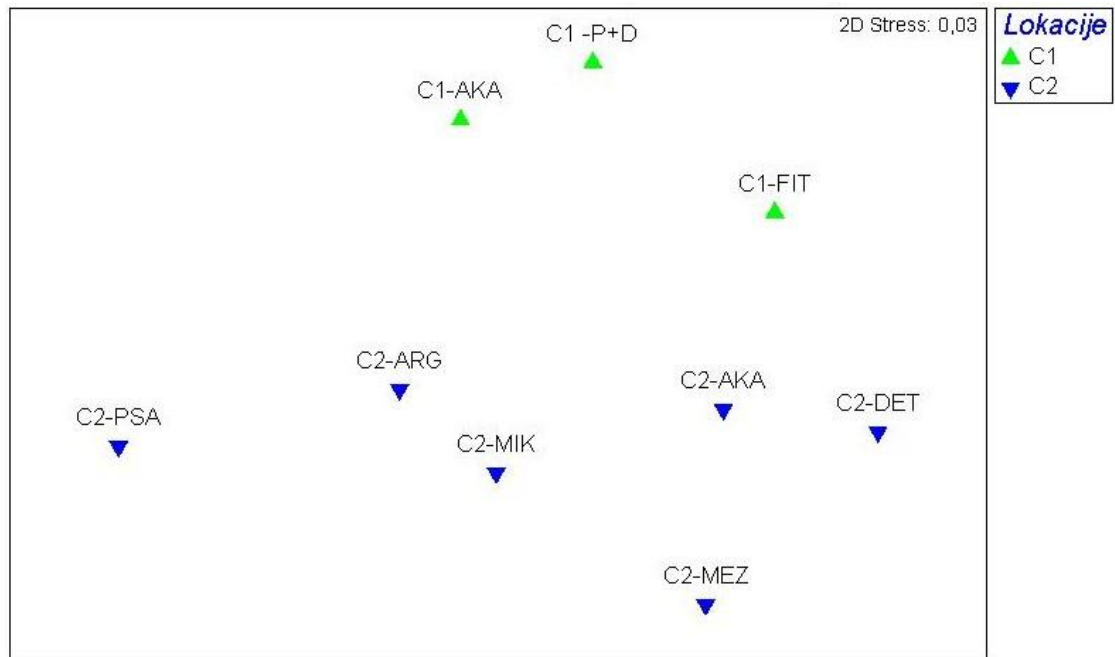
Ukupan broj prikupljenih jedinki na lokaciji 1 je znatno veći nego na lokaciji 2, no ukupan broj svojti između lokacija je podjednak. Brojnost pojedinih skupina makrozoobentosa se značajno razlikovala između lokacija (Tablica 11).

Skupina Diptera je pokazala veći broj svojti, a ujedno i veći broj jedinki na lokaciji 1. Oligochaeta su također pokazali veću brojnost i udio na lokaciji 1. Amphipoda su bili nešto više zastupljeniji na lokaciji 2, iako s manjim brojem jedinki nego na lokaciji 1. Ephemeroptera su pokazali veću brojnost, duplo veći udio, i veći broj svojti na lokaciji 2. Trichoptera su imali isti udio, ali puno veći broj svojti na lokaciji 2. Coleoptera pokazuju veću brojnost i veću zastupljenost na lokaciji 2. Bivalvia su bili izrazito brojniji na lokaciji 1. Udio Ephemeroptera, Trichoptera i Coleoptera (EPC) u postotcima i broj svojti je bio veći na lokaciji 2.

Tablica 11. Općeniti prikaz razlika brojnosti i zastupljenosti svojti (%) iz najbrojnijih skupina dviju istraživanih postaja. Oznaka ETC – Ephemeroptera, Trichoptera, Coleoptera.

	Lokacija 1	Lokacija 2
Ukupno jedinki	10 043	7365
Ukupno svojti	73	71
	br. jedinki (udio) - br. svojti	br. jedinki (udio) – br. svojti
Diptera	<b>4012 (40%) - 19</b>	<b>2940 (40%) - 11</b>
Oligochaeta	<b>2458 (24%) - 1</b>	<b>1141 (15%) - 1</b>
Amphipoda	<b>2215 (22%) - 2</b>	<b>1760 (24%) - 2</b>
Ephemeroptera	<b>618 (6%) - 9</b>	<b>860 (12%) - 13</b>
Trichoptera	<b>300 (3%) - 18</b>	<b>208 (3%) - 25</b>
Coleoptera	<b>42 (0.4%) - 9</b>	<b>436 (6%) - 5</b>
Bivalvia	<b>235 (2%) - 1</b>	<b>1 (0.01%) - 1</b>
Udio ETC	<b>9,4% - 36</b>	<b>21% - 43</b>

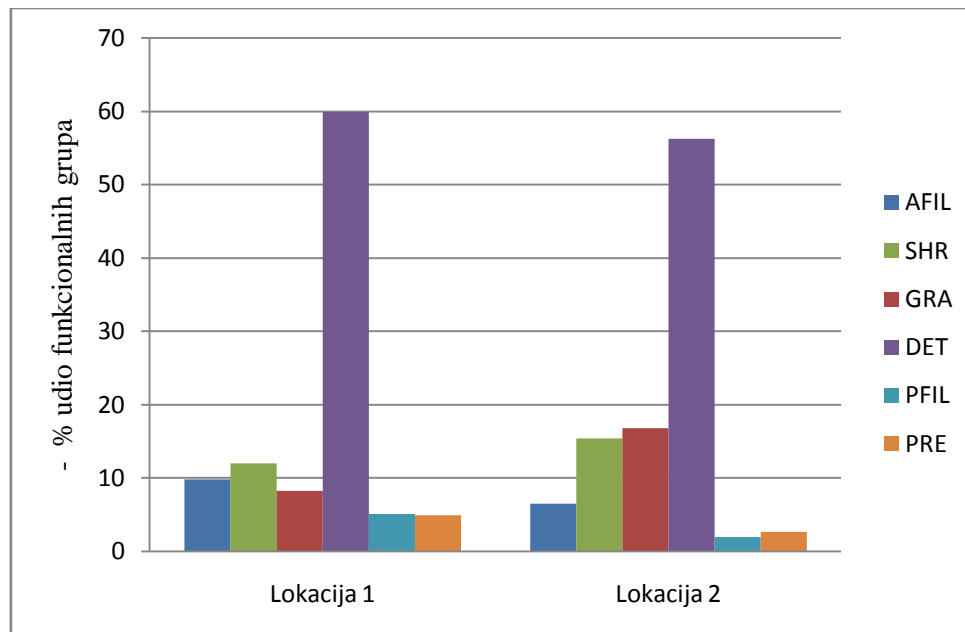
Temeljem MDS analize dobiven je graf koji pokazuje jasnu diferencijaciju zajednica makrozoobentosa dviju istraživanih postaja. Lokacija 1 Cvetlin degradirano (C1) jasno se izdvaja temeljem sastava i strukture makrozoobentosa od lokacije 2 Cvetlin prirodno (C2). U gornjem dijelu grafa nalaze se mikrostaništa s postaje C1, a u donjem dijelu mikrostaništa uzorkovana na postaji C2 (Slika 8).



Slika 8. Usporedba sličnosti zajednica makrozoobentosa između lokacija. Oznake lokacija: C1 - lokacija 1 Cvetlin degradirano, C2 - lokacija 2 Cvetlin prirodno. Oznake pridruženih mikrostaništa: : PSA - psamal, DET - detritus, AKA - akal, MEZ - mezolital, MIK - mikrolital, ARG - argilal, P+D - psamal + detritus, FIT - fital.

#### 4.4. Udio funkcionalnih hranidbenih grupa makrozoobentosa istraživanih lokacija

Udio pojedinih hranidbenih grupa između lokacija (Slika 9) je pokazao da broj detritivora ili sakupljača dominira na obje lokacije, međutim na lokaciji 1 malo je veći, čime se smanjuje broj ostalih grupa. Na lokaciji 1 ostatak grupa pokazuje ravnomjerniju raspodjelu u usporedbi s ostatkom grupa na lokaciji 2. Na lokaciji 1 zabilježen malo veći broj aktivnih i pasivnih procjeđivača, te predatora. Na lokaciji 2 se povećao broj usitnjivača i strugača.



Slika 9. Postotni udio funkcionalnih hranidbenih skupina na istraživanim lokacijama. Oznake funkcionalnih hranidbenih skupina: DET – detritivori ili sakupljači, SHR- usitnjivači, GRA – strugači, AFIL – aktivni procjeđivači, PFIL – pasivni procjeđivači, PRE – predatori (Moog 2002).

## 5. RASPRAVA

### 5.1. Razlike u fizikalno - kemijskim obilježjima vode na istraživanim lokacijama

Fizikalno – kemijski pokazatelji su jedni od faktora koji utječu na sastav i strukturu zajednica makrozoobentosa (Giller i Malmqvist 1998, Moog 2002). Mjerenja osnovnih fizikalno – kemijskih obilježja u okviru ovog istraživanja generalno nisu pokazala značajne razlike između lokacija. Veći temperaturni raspon na lokaciji 1 izmjeren je zbog razlika u izloženosti sunčevom zračenju (Giller i Malmqvist 1998). Odsustvo obalne vegetacije koja bi zasjenjivala rijeku utječe na brzinu zagrijavanja i hlađenja vode (Lorenz i sur. 2004), zbog čega se na lokaciji 1 povećao temperaturni raspon. Topljivost kisika u vodi ovisi o temperaturi vode, sa smanjenjem temperature vode povećava se količina otopljenog kisika (O'Driscoll i sur. 2016). Koncentracija otopljenog kisika je na lokaciji 1 u proljeće potvrdila tu činjenicu obzirom da je ta lokacija imala veću količinu otopljenog kisika uz manju izmjerenu temperaturu (5,6 °C) nego lokacija 2 (9,0 °C). Što se tiče ljeta, lokacija 1 je imala veću količinu otopljenog kisika u vodi s većom temperaturom zbog toga jer se na lokaciji 1 razvila bogata vodena vegetacija koja stvara dodatne količine kisika. Dodatni kemijski parametri poput količine organskih tvari i koncentracije hranjivih tvari u vodi nisu mjereni posebno za svaku lokaciju, no možemo zaključiti da prema graničnim vrijednostima propisanim u Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 89/2010), istraživane lokacije imaju dobro stanje prema vrijednostima biološke potrošnje kisika ( $BPK_5 < 4,1 \text{ mg O}_2/\text{L}$ ), dobro stanje prema vrijednostima za ukupnu količinu dušika ( $< 2,6 \text{ mg N/L}$ ) te vrlo dobro stanje za količinu ukupnog fosfora ( $< 0,26 \text{ mg P/L}$ ).

### 5.2. Ocjena hidromorfološkog stanja istraživanih lokacija

U ocjeni hidromorfološkog stanja istraživanih lokacija pokazatelji su bili svrstani u tri generalne grupe: hidrologija, uzdužna povezanost i morfologija vodotoka.

Ocjeni grupe hidroloških pokazatelja je na lokaciji 2 Cvetlin prirodno pridružena je najbolja moguća klasa 1 ili vrlo dobro hidromorfološko stanje. Lokacija 1 Cvetlin degradirano ima nižu klasu 2 ili dobro hidromorfološko stanje zbog postojanja umjetne građevine ili mosta koji smanjuje ocjenu hidrologije te lokacije utjecajem na prirodni tok.

Ocjena uzdužne povezanosti rijeke na obje lokacije svrstana je najbolju moguću klasu 1 ili vrlo dobro hidromorfološko stanje, što znači da na istraživanim lokacijama imamo nesmetan i neograničen transport vode i pridruženih nutrijenata, sedimenata, neometane

migracijske puteve za organizme koji nisu ometeni postojanjem umjetnih građevina poput hidroelektrane koja bi potpuno prekinula uzdužnu povezanost tekućice.

Najveće razlike između istraživanih lokacija povezane su sa stupnjem degradacije morfoloških karakteristika vodotoka.

### **Morfološke karakteristike lokacije 2 Cvetlin prirodno**

Ova lokacija je svrstana u klasu 2 ili dobro hidromorfološko stanje koje teži gotovo prirodnom (referentnom) stanju morfoloških pokazatelja ili klasi 1. Na ovoj lokaciji djelomično je promijenjena geometrija korita jer se vide djelomični znakovi uređivanja korita (<15%), dok starost ostalih stabala uz obalu ukazuje na nepromijenjen položaj korita. Mjestimično postoje i znakovi povijesnog produbljivanja korita, no erozija i taloženje su i dalje prisutni uz nedostatak >10% očekivanih elemenata (prema stručnoj procjeni). Na ovoj lokaciji nema umjetnih materijala i obalna vegetacija je gotovo prirodna uz mjestimične pojave mekanih materijala (vrbe/trava). Na tom dijelu vodotoka zabilježeno je do 15% neprirodnog zemljišnog pokrova u obalnom pojasu (mlade vrbe i trava). Zemljište iza desnog obalnog pojasa predstavlja livada košanica dok područje lijeve obale manjim dijelom obuhvaćaju obrađivane površine. Ovakvo dobro morfološko stanje korištenog zemljišta i strukture obalnog područja te dobre povezanosti s poplavnim područjem ima pozitivan utjecaj i na odrasle stadije većine skupina makrozoobentosa (Lorenz i sur. 2004) koji tijekom razvoja iz ličinke u odrasli stadij iz vode prelaze na kopnena staništa.

Zbog minimalnih fizičkih promjena u morfologiji vodotoka supstrat koji predstavlja mikrostaništa za makrozoobentos ovdje je raznolik što ima pozitivan efekt na razvoj bioloških zajednica (Hussain i Pandit 2012). Na ovoj lokaciji su zajednice makrozoobentosa uzorkovane iz prirodnih mješavina 6 različitih mikrostaništa: srednji i krupni šljunak i valutice (mikrolitat), kamenje veličine šake i oblutci (mezolital), sitni šljunak (akal), pijesak (psamal), anorganski mulj i glina (argilal), čestice mrtve organske tvari (detritus).

## **Morfološke karakteristike lokacije 1 Cvetlin degradirano**

Umjereno promijenjeno hidromorfološko stanje ili klasa 3 lokacije 1 Cvetlin degradirano, koje teži klasi 4, ponajviše je posljedica regulacije vodotoka koja je podrazumijevala prokopavanje korita radi zaštite od poplava te redovito odstranjivanje obalne vegetacije i prenamjene okolnog zemljišta.

Više od 75% duljine dionice ima promijenjen presjek korita gdje je vidljivo očito produbljivanje cijele dionice i nedostatak varijacija u dubini korita i raznolikosti staništa. Ovdje su bila prisutna samo 3 mikrostaništa: pijesak s organskim muljem (psamal+detritus) i vodena vegetacija (fital) koji su zastupljeni s 80%, i mikrostanište sa sitnim šljunkom (akal) koji čini ostatak. Erozija i taloženje u koritu su prisutni, ali odstupaju od prirodnih uvjeta. Pjeskovito - muljevita podloga koja prevladava dionicom ne odgovara tipu vodotoka nižeg reda tekućice (Vannote i sur. 1980). Visok stupanj uklanjanja vodene vegetacije pogađa više od 50% dionice, a sama vegetacija odstupa od prirodnih uvjeta (Giller i Malmqvist 1998, Moog 2002, Vannote i sur. 1980). Količina i veličina drvenih ostataka je u velikoj mjeri izmijenjena i oni se redovno aktivno uklanjaju. Na području riječnog koridora iza obalnog pojasa prevladavaju obrađivane površine koje ulaze u kategoriju neprirodnog pokrova zemljišta. Također, desnom stranom dionice iza obalnog pojasa prolazi cesta. Na ovakvoj dionici rijeke degradirane morfologije trebalo bi provesti restauraciju koja bi sigurno utjecala na poboljšanje uvjeta i približavanje prirodnom stanju (Burgos i sur. 2015).

### 5.3. Usporedba sastava i strukture makrozoobentosa istraživanih lokacija

Istraživanje zajednica makrozoobentosa provedeno je na lokaciji 1 Cvetlin degradirano i lokaciji 2 Cvetlin prirodno u gornjem toku rijeke Bednje. Uzorkovanje makrozoobentosa je provedeno isti dan ljeti, na obje lokacije. Za statističku obradu podataka u programu Statistica potrebno je imati barem dva vremenski odvojena ponavljanja na istoj lokaciji, stoga takva analiza nije mogla biti provedena.

Sukladno lošijoj hidromorfološkoj ocjeni i homogenosti morfoloških karakteristika na lokaciji 1 makrozoobentos je bio uzorkovan s manjeg broja mikrostaništa (Bruno i sur. 2014). Gotovo jednak broj svojti na lokaciji 1 (73 svojte) i lokaciji 2 (71 svojta) objašnjava se time što 40% staništa na istraživanoj lokaciji čini vodena vegetacija (mikrostanište fital) koje na prirodnoj lokaciji 2 gotovo da nema zbog zasjenjenosti rijeke obalnom vegetacijom (Vannote i sur. 1980, Moog 2002). Vodena vegetacija je veoma privlačno stanište za mnogo različitih skupina makrozoobentosa, gdje rijetko koja skupina organizama makrozoobentosa pokazuje averziju na ovakvo mikrostanište što dokazuje i to da su gotovo sve svojte zabilježene na lokaciji 1 prisutne upravo u vegetaciji (Verodonschot 2009). Osim toga, vodena vegetacija služi kao izvor hrane, sklonište i mjesto života za organizme (Giller i Malmqvist 1998) te se zbog toga u njoj javlja mnoštvo različitih svojti koje se inače možda ne bi očekivale na degradiranoj lokaciji s homogenijim staništima. Smatram da je razvoj vodene vegetacije kao pogodnog mikrostaništa na lokaciji 1 prikrivao očekivanu veću razliku u broju svojti između lokacija. S druge strane, na navedenoj lokaciji prevladavaju eurivalentne svojte i one koje preferiraju finiji supstrat što je neprirodno za ovaj tip tekućice (Vannote i sur. 1980).

Lokacija 2 Cvetlin prirodno ima 7 365 prikupljenih jedinki (lokacija 1 = 10 043 jedinki), koje su raspoređene kroz približno isti broj svojti kao i na lokaciji 1 (73/71). Taj odnos brojnosti i sastava nam dokazuje da je bioraznolikost veća na prirodnoj lokaciji 2. Veći broj raspoloživih mikrostaništa na lokaciji 2 (njih 6), posebice onih građenih od kamenja, valutica i šljunka (mikrostaništa mikrolital, mezolital i akal) također uvjetuje i veći broj zabilježenih svojti (Hussain i Pandit 2012, Gilmore 2002).

Opće je poznata činjenica da se osjetljive svojte makrozoobentosa usred antropogenih pritisaka zamjenjuju s oportunističkim vrstama koje su šire rasprostranjene, brojnije i prilagođenije na promijenjene okolišne uvjete (Giller i Malmqvist, 1998, Bruno i sur. 2014). Sukladno tome, na degradiranoj lokaciji 1 se u velikim brojevima javljaju skupine Diptera

(najviše porodica Chironomidae), Oligochaeta i Amphipoda koji zajedno čine 86% ukupne brojnosti svih jedinki te lokacije.

### **Dvokrilci (Diptera)**

Najbrojniji predstavnici Diptera pripadaju porodici Chironomidae sa po 40% u ukupnom brojčanom udjelu jedinki za obje lokacije pojedinačno. No, sastav i brojnost svojti se na dvije istraživane lokacije znatno razlikuje. Na lokaciji 1 dominira vrsta *Prodiamesa olivacea* (1383 jedinke) koja preferira pjeskovito mikrostanište sa sitnim česticama detritusa (Tolkamp 1982, Moller Pillot 2014). Vrsta se rjeđe pojavljuje u kamenitim ili šljunkovitim supstratima koji prevladavaju na lokaciji 2 te stoga na toj postaji gotovo uopće nije zabilježena. Od ostalih porodica Diptera na obje lokacije prevladava porodica Simuliidae koje čine znatan udio pasivnih procjeđivača na obje lokacije. Predstavnik ove porodice ima najviše u vodenoj vegetaciji čija razgradnja predstavlja bogat izvor suspendiranih organskih čestica koje vrste iz ove porodice filtriraju iz vode (Anderson i Seddel 1979).

### **Maločestinaši (Oligochaeta)**

Ova skupina javila se u velikom broju na obje lokacije, međutim 2 puta je brojnija na lokaciji 1. Oligochaeta su detritivori ili sakupljači i najčešće pokazuju bolju prilagođenost na uvjete koji odstupaju od prirodnih te su dobri indikatori organskog opterećenja (Giller i Malmqvist 1998). Stoga ih ima više na lokaciji 1 gdje je više zastupljen detritus (40% supstrata čini mikrostanište psamal + detritus) u odnosu na lokaciju 2 (10%).

### **Rakušci (Amphipoda)**

Od dvije vrste porodice Gammaridae, vrsta *Gammarus roeseli* koji je prilagođeniji na veće temperature vode prevladava na lokaciji 1, dok vrsta *Gammarus fossarum* koji je prilagođeniji na hladnije i zasjenjene vodotoke prevladava na lokaciji 2 (Grabowski i sur. 2007, Pöckl 1992 ).

### **Vodencvjetovi (Ephemeroptera)**

Ova skupina je zauzela duplo veći udio u ukupnoj brojnosti na lokaciji 2, no zanimljivo je kako su se rasporedile neke od brojnijih vrsta između lokacija. Nakon vrsta iz porodice Baetidae, na lokaciji 2 najbrojnije vrste bile su *Electrogena ujhelyii* iz porodice Heptageniidae (često može naći ispod potopljenog korijenja i stabala drveća kojima obiluje prirodna lokacija) i vrsta *Habrophlebia fusca* iz porodice Leptohlebiidae koja voli bržu i



čišću vodu (Bauerfeind i Soldan 2012). S druge strane, na lokaciji 1 najbrojnije su vrste iz porodice Baetidae, poput *Baetis pentaplebedes* i *Baetis rhodani* koje preferiraju kanalizirane rijeke i vodenu vegetaciju (Bauerfeind i Soldan 2012).

### **Tulari (Trichoptera)**

Na obje lokacije ova skupina zauzima isti udio u brojnosti, no vidljivo je iz samog broja porodica da je raznolikost Trichoptera veća na lokaciji 2 budući da je ta skupina prilagođenija na prirodne riječne tokove i često su indikatori organskog zagađenja (Moog 2002). Na obje lokacije je dominantna porodica Hydropsychidae, no ona zauzima 82% ukupnog broja jedinki na lokaciji 1. Razlog tome je njezina prilagodba na filtriranje suspendiranih čestica organske tvari kojih ima u produktivnijim tekućicama, odnosno ovdje je to vodena vegetacija, gdje ova porodica potiskuje ostale vrste iz skupine Trichoptera (Malmqvist i Eriksson 1995).

### **Školjkaši (Bivalvia)**

Zabilježena je znatna razlika u brojnosti školjkaša između lokacija. Na lokaciji 2 pronađena je samo jedna jedinka vrste *Unio crassus* ssp. koja preferira pijesak kao stanište (Pfleger 1990), a kod nas je zaštićena u kategoriji strogo zaštićene vrste (NN 99/2009). Na lokaciji 1 je zabilježen znatan broj jedinki roda *Pisidium* koji preferira stanište s finijim česticama kojima je ta lokacija bogata (Giller i Malmqvist 1998).

### **Kornjaši (Coleoptera)**

Eyre i sur. (2006) i Sánchez-Fernández i sur. (2004, 2006) ustanovili su da vodeni kornjaši vrlo brzo reagiraju na promjene u svojem staništu gdje porodica Elmidae ima najveći potencijal (Elliott 2008). Navedeno je potvrđeno i u ovom istraživanju jer se brojnost i raznolikost ove porodice značajno razlikuje između dvije istraživane lokacije. Njihova brojnost i raspodjela je značajno veća na prirodnom staništu u usporedbi s onim degradiranim.

#### **5.4. Trofička struktura zajednice makrozoobentosa na istraživanim lokacijama**

Najveći broj detritivora ili sakupljača na obje lokacije čini porodica Chironomidae (86% i 96% brojnosti Diptera). Brojnošću dominantni usitnjivači na obje lokacije su predstavnici dvije vrste iz skupine Amphipoda. Unos velikih količina alohtonog organskog materijala iz obalne vegetacije na prirodnoj lokaciji 2 uvjetovala je povećan broj usitnjivača koji usitnjavaju listinac te dominantnu brojnost detritivora ili sakupljača na obje lokacije koji dalje procesiraju te čestice (Vannote i sur. 1980). Detritus na lokaciji 1 nastaje odumiranjem i razgradnjom vodene vegetacije.

Veći broj aktivnih i pasivnih procjeđivača na lokaciji 1 je povezan s produkcijom suspendiranih čestica organske tvari razgradnjom bogate vodene vegetacije. Te čestice filtriraju jedinke iz porodice Simuliidae (Diptera), koje su nakon Chironomidae (Diptera) najbrojnije i ima ih znatno više nego na lokaciji 2. Osim njih u filtriranju čestica sudjeluju i Hydropsychiidae (Trichoptera) kojih na lokaciji 1 također ima znatno više zbog gore navedenih razloga.

Brojnost i raznolikost strugača i predatora opada kako se povećava udio pjeskovitog supstrata (Vannote i sur. 1980). Sukladno tome zabilježen je veći broj strugača na lokaciji 2 odnosno skupine Coleoptera (porodica Elmidae) koji stružu obraštaj s valutičasto – šljunkovitog supstrata koji na toj lokaciji prevladava (Elliot 2008). Nasuprot tome, povećana brojnost predatora na lokaciji 1 je razlog toga što predatori prate koncentraciju gustoće plijena (Stephsen i Krebs, 1986). Osim toga poznato je da je udio predatora u tekućicama generalno nizak i da se slabo mijenja duž vodotoka (Vannote i sur. 1980) čemu u prilog ide i podatak da su lokacije uzorkovanja makrozoobentosa udaljene tek 500 m.

## 6. ZAKLJUČAK

- Dvije istraživane lokacije, iako su udaljene svega 500 m, značajno se razlikuju u hidromorfološkim karakteristikama.
- Fizikalno – kemijski pokazatelji ne razlikuju se značajno između lokacija što znači da su hidromorfološke karakteristike lokacija, odnosno stanje fizičkih staništa, uvjetovali raspodjelu i brojnost zajednica makrozoobentosa na pojedinoj lokaciji.
- Lokacija 1 Cvetlin degradirano ima umjereno hidromorfološko stanje, koje teži k lošem zbog izrazito degradirane morfologije dionice, te na njoj prevladavaju muljevito – pjeskovita mikrostaništa sitnijih čestica s razvijenom vodenom vegetacijom (80%). Lokaciji 2 Cvetlin prirodno je pridruženo dobro hidromorfološko stanje sukladno heterogenom sastavu mikrostaništa gdje 60% supstrata čini valutičasto – šljunkovita podloga različitih veličina čestica.
- MDS analiza jasno odvaja zajednice makrozoobentosa sa istraživanih lokacija, uz grupiranje mikrostaništa svake lokacije.
- Na morfološki degradiranoj lokaciji 1 prevladavaju eurivalentne svojte i one koje preferiraju finiji supstrat i fital. Vodena vegetacija na degradiranoj lokaciji 1 povećava raznolikost zajednica makrozoobentosa, te smanjuje očekivano veće razlike u bogatstvu vrsta između lokacija.
- Veća heterogenost mikrostaništa na lokaciji 2 podržava veću raznolikost vrsta u odnosu na lokaciju 1, posebice osjetljivih vrsta iz skupine Ephemeroptera, Trichoptera i Coleoptera.
- Između dvije istraživane lokacije zabilježene su i razlike u funkcionalnim hranidbenim grupama. Veći broj aktivnih i pasivnih procjeđivača (Hydropsychiidae - Trichoptera, Simuliidae - Diptera) zabilježen je na lokaciji 1. Strugači (Coleoptera) i usitnjivači (Amphipoda) su bili brojniji na lokaciji 2 Cvetlin prirodno sukladno unosa listinca i pogodnije podloge za razvoj obraštaja.

## 7. LITERATURA

Anderson N. H., Sedell J. R. (1979): Detritus processing by macroinvertebrates in stream ecosystems. *Annual Review of Entomology* **24**: 351-377.

APHA (1995): Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington, D.C.

AQEM consortium (2002): Manual for the application of the AQEM system. A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive. Version 1.0.

Bauerfeind E., Soldán T. (2012): The Mayflies of Europe (Ephemeroptera). Apollo Books, Vestern Skernige.

Boon P. J., Holmes N. T. H., Raven P. J. (2010): Developing standard approaches for recording and assessing river hydromorphology: the role of the European Committee for Standardization (CEN). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **20**: S55 – S61.

Bruno D., Belmar O., Sánchez-Fernández D., Guareschi S., Millán A., Velasco J. (2014): Responses of Mediterranean aquatic and riparian communities to human pressures at different spatial scales. *Ecological Indicators* **45**: 456–464.

Clarke K. R., Gorley R. N., (2006): PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth.

Čanjevac I. (2013): Tipologija protočnih režima rijeka u Hrvatskoj. *Hrvatski geografski glasnik* **75**(1): 23-42.

Elliott J. M. (2008): The ecology of riffle beetles (Coleoptera: Elmidae). *Freshwater Biology* **1**: 189-203.

Eyre M. D. (2006): A strategic interpretation of beetle (Coleoptera) assemblages, biotopes, habitats and distribution and conservation implications. *Journal of Insect Conservation* **10**: 151-160.

Fehér J., Gáspár J., Veres K. S., Kiss A., Austnes K., Globevnik L., Kirn T., Peterlin M., Stein U., Spiteri C., Prins T., Deltares S., Laukkonen E., Heiskannen A.- S., Semerádová S.,

Künitzer A. (2012): Hydromorphological alterations and pressures in European rivers, lakes, transitional and coastal waters. ETC/ICM Technical Report 2/2012. ETC/ICM, Prague.

Garcia – Burgos E., Bardina M., Solá C., Real M., Capela J., Munn A. (2015): Hydromorphological methodologies to assess ecological status in mediterranean rivers: applied approach to the Catalan river basin district. Springer International Publishing, Switzerland.

Giller P. S., Malmqvist B. (1998): The biology of streams and rivers. Biology of habitats. Oxford University Press, Oxford.

Gilmore S. (2002): Benthic Macro - Invertebrate population difference between sand and cobble substrates in the Arroyo Seco Watershed. Central Coast Watershed Studies (CCoWs), California State University, Monterey Bay.

Grabowski M., Baceta K., Konopacka A. (2007): How to be an invasive gammarid (Amphipoda: Gammaroidea) – comparison of life history traits. *Hydrobiologia* **590**: 75-84.

Herring D., Aroviita J., Baattrup – Pedersen A., Brabec K., Buijse T., Ecke F., Friberg N., Gielczewski M., Januschke K., Köhler J., Kupilas B., Lorenz A. W., Muhar S., Paillex A., Poppe M., Schmidt T., Schmutz S., Vermaat J., Verdonschot P. F. M., Verdonschot R. C. M., Wolter C., Kail J. (2015): Contrasting the roles of section length and instream habitat enhancement for river restoration success: a field study of 20 European restoration projects. *Journal of Applied Ecology* **52**(6): 1518 – 1527.

Hussain Q. A, Pandit K. A. (2012): Macroinvertebrates in streams: a review of some ecological factors. *International Journal of Fisheries and Aquaculture* **4**(7): 114-123.

Jähnig S. C., Lorenz A.W., Hering D., (2009): Habitat mosaics and macroinvertebrates—Does channel form determine community composition?. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **19**: 157–169.

Lorenz A., Hering D., Feld C. K., Rolaufts P. (2004): A new method for assessing the impact of hydromorphological degradation on the macroinvertebrate fauna of five German stream types. *Hydrobiologia* **516**: 107–127.

Malmqvist B., Eriksson A. (1995): Benthic insects in Swedish lake-outlet streams: patterns in species richness and assemblage structure. *Freshwater Biology* **34**(2): 285 – 296.

Metcalf L. J. (1989): Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: history and present status in Europe. *Environmental Pollution* **60**: 101-139

Mihaljević Z., Kerovec M., Mrakovčić M., Plenković A., Alegro A., Primc-Habdija B. (2011): Testiranje bioloških metoda ocjene ekološkog stanja (Okvirna direktiva o vodama, 2000/60/EC) u reprezentativnim slivovima Panonske i Dinaridske ekoregije. Studija, Prirodoslovno – matematički fakultet, Zagreb.

Moller Pillot H. K. M. (2014): Chironomidae larvae, Vol. 3: Orthocladiinae. Biology and ecology of the aquatic Orthocladiinae. KNNV Publishing, Zeist.

Moog O. (Ur.) (2002): Fauna Aquatica Austriaca, Edition 2002. – Wasserwirtschaftskataster Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Vienna.

Narodne novine, 2009. Pravilnik o proglašavanju divljih svojti zaštićenim i strogo zaštićenim. Narodne novine d.d., **99**, Zagreb.

Narodne novine, 2010. Uredba o standardu kakvoće voda. Narodne novine d.d., **89**, Zagreb.

Nilsson A. (1996): Aquatic insects of North Europe. A taxonomic handbook. Vol. 1: Ephemeroptera, Plecoptera, Heteroptera, Magaloptera, Neuroptera, Coleoptera, Trichoptera and Lepidoptera. Apollo Books, Stenstrup.

Nilsson A. (1997): Aquatic insects of Northern Europe. A taxonomic handbook, Vol. 2: Odonata, Diptera. Apollo Books, Stenstrup.

O'Driscoll C., O'Connor M., Asam Z., Eyto E., Brown L. E., Xiao L. (2016): Forest clearfelling effects on dissolved oxygen and metabolism in peatland streams. *Journal of Environmental Management* **166**: 250 -259

Pfleger V. (1990): A field guide in colour to molluscs. Aventinum nakladatelstvi, s.r.o. Prague.

Pöckl M. (1992): Effects of temperature, age and body size on moulting and growth in the freshwater amphipods *Gammarus fossarum* and *G. roeseli*. *Freshwater Biology* **27**(2): 211 – 225.

Počakal M. (1982): Hidrografske veličine porječja Bednje. *Geografski glasnik*. Broj 44.

Sánchez-Fernández D., Abellán P., Velasco J., Millán A. (2004): Selecting areas to protect the biodiversity of aquatic ecosystems in a semiarid Mediterranean region. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **14**: 465-479.

Sánchez-Fernández D., Abellán P., Mellado A., Velasco J., Millán A. (2006): Are beetles good indicators of biodiversity in Mediterranean aquatic ecosystems? The case of the Segura river basin (SE Spain). *Biodiversity and Conservation* **15**: 4507-4520.

Službeni vjesnik Varaždinske županije (2002). Varaždin, br. **7** - godina X: 489 – 544.

Statistički ljetopis. Republika Hrvatska, 2015., str. 49.

Stephens, D. W., Krebs J. R. 1986. Foraging theory. Princeton University Press, Princeton.

Šegota T., Filipčić A. (1996): *Klimatologija za geografe*, Sveučilište u Zagrebu. Školska knjiga, Zagreb.

European Commission (2000): Directive 2000/60/EC, establishing a framework for community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities* **327**: 1-72, Brussels.

Tolkamp H. H. (1982): Microdistribution of macroinvertebrates in lowland streams. *Hydrobiological bulletin* **16**(2-3): 133 – 148.

Vaughan I. P., Ormerod S. J. (2010): Linking ecological and hydromorphological data: approaches, challenges and future prospects for riverine science. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **20**: S125 – S130.

Vannote, R. L., Minshall G. W., Cummins K. W., Sedell J. R., Cushing, C. E. (1980): The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **37**: 130-37.

Verodonschot P. (2009): Impact of hydromorphology and spatial scale on macroinvertebrate assemblage composition in streams. *Integrated Environmental Assessment and Management* **5**(1): 97 – 109.

<http://webgis.hgi-cgs.hr/gk300/> Datum pristupanja: 9.2.2017.

[http://www.voda.hr/sites/default/files/metodologija\\_monitoringa\\_i\\_ocjenjivanja\\_hidromorfoloskih\\_pokazatelja\\_8.04.2016\\_i\\_odluka.pdf](http://www.voda.hr/sites/default/files/metodologija_monitoringa_i_ocjenjivanja_hidromorfoloskih_pokazatelja_8.04.2016_i_odluka.pdf) Datum pristupanja: 10.2.2017.

[http://www.voda.hr/sites/default/files/metodologija\\_uzorkovanja\\_laboratorijskih\\_analiza\\_i\\_ostredivanja\\_omjera\\_ekoloske\\_kakvoce\\_bioloskih\\_elementata\\_i\\_odluka.pdf](http://www.voda.hr/sites/default/files/metodologija_uzorkovanja_laboratorijskih_analiza_i_ostredivanja_omjera_ekoloske_kakvoce_bioloskih_elementata_i_odluka.pdf) Datum pristupanja: 10.2.2017.



## ŽIVOTOPIS

Rođena sam 17.09.1991. godine u Koprivnici. U Đurđevcu sam pohađala osnovnu i srednju školu. Opću gimnaziju doktora Ivana Kranjčeva završila sam 2010. godine te sam iste te godine započela fakultetsko obrazovanje na Prirodoslovno - matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Prediplomski studij Znanosti o okolišu završila sam 2014. godine s temom seminarskog rada Zaštićene i ugrožene vrste beskralješnjaka u nacionalnim parkovima Hrvatske. Nakon stjecanja naziva prvostupnice, univ. bacc. oecol. Znanosti o okolišu, u rujnu 2014. godine se odlučujem dalje nastaviti studij i upisati diplomski studij na Prirodoslovnom - matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, smjer Znanosti o okolišu.

Zbog želje za praktičnim usavršavanjem, povezivanjem s ljudima i učenja znanja izvan fakultetskog obrazovanja, 2013. godine sam počela volontirati u udruzi studenata biologije – BIUS, gdje sam tokom akademske godine 2015./2016. bila voditeljica Sekcije za ptice. Održavali smo edukativna predavanja, organizirali smo terene i izvedbu projekata preko natječaja Sveučilišta u Zagrebu.

U rujnu 2015. godine sam sudjelovala na Erasmus + Art & Science programu u Lublinu, u Poljskoj, gdje je sudjelovalo 30 studenata iz Bugarske, Hrvatske, Makedonije, Italije, Poljske i Španjolske. Glavna tema projekta je bio internacionalni dijalog i upotreba kreativnih ideja za približavanje znanosti djeci kroz različite radionice, upotrebom moderne tehnologije i izvedbom raznih znanstvenih pokusa.

Od 2015. godine sudjelujem kao terenski istraživač u projektu „Monitoring čestih vrsta ptica poljoprivrednih staništa“ koji traje i dalje, a vodi ga Hrvatska agencija za okoliš i prirodu, odnosno tadašnji Državni zavod za zaštitu prirode.

U sklopu projekta Volontiranje u Parkovima Hrvatske, u travnju 2016. godine sam 2 tjedna volontirala u Parku prirode Lonjsko polje.

U rujnu 2016. godine sudjelovala sam u trodnevnoj internacionalnoj radionici održanoj u okviru projekta „Lišajevi kao bioindikator zagađenja u okolišu“ (PMF, Biološki odsjek; Geonatura d.o.o.) financiranog od strane Europskog Socijalnog Fonda.